

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Inhibitory koroze v nátěrových systémech
Corrosion Inhibitors in Coating Systems

Student:

Ing. Viktor Janíček

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student:

Ing. Viktor Janíček

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Inhibitory koroze v nátěrových systémech
Corrosion Inhibitors in Coating Systems

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku inhibitorů koroze.
2. Prostudujte problematiku předúpravy povrchu před aplikací nátěru.
3. Prostudujte problematiku organických povlaků.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
6. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000, 150 s. ISBN 80-7078-953-0.

PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I. Dot.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997, 71 s. ISBN 80-7078-235-8.

ČSN EN ISO 12944: *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Praha: Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.

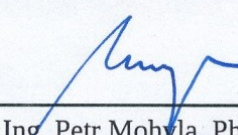
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

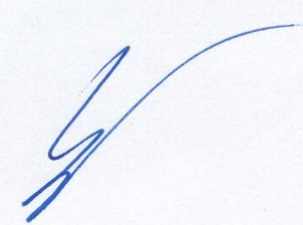
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. René Siostrzonek, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

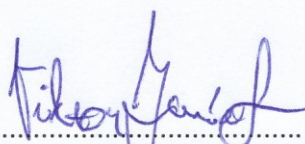
Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 13 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýhradně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užívat (§ 15 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu v oprávněném úžitku dle § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své díla – bakalářské práce nebo poskytnutí licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že pokud zdánlivě své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 121/2000 Sb.,

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

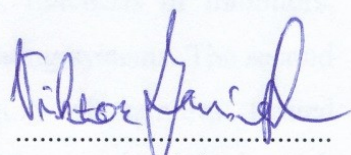
V Ostravě: 16. 5. 2016


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16. 5. 2016


.....
podpis

Ing. Viktor Janíček

Zahradní 2655/29

787 01 Šumperk

Anotace bakalářské práce

JANÍČEK, V.: *Inhibitory koroze v nátěrových systémech: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016. 73 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá aplikací nátěrového systému s obsahem inhibitorů na kovové materiály. První část práce seznamuje s teoretickými principy vzniku koroze, možných ochranných opatření, funkcí inhibitorů, předběžných úprav povrchu a použití nátěrových systémů. Druhá část obsahuje experimentální práce přípravy a zkoušení vzorků ošetřených uretanovým podkladovým nátěrem Cortec VpCI 396, určeným pro konstrukční oceli. V závěru práce uvádí výsledky a hodnocení destruktivních a nedestruktivních zkoušek nátěrového systému včetně výsledků jeho expozice v korozním prostředí.

Annotation of bachelor thesis

JANÍČEK, V.: *Corrosion Inhibitors in Coating Systems: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016. 73 p. Advisor bachelor thesis: Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Bachelor thesis deals with the application of a coating system containing inhibitors on the metal materials. The first part of the work acquaints with the theoretical principles of the formation of corrosion, potential protective measures, functions of inhibitors, the preliminary adjustments of the surface and application of coating systems. The second part contains experimental work of preparation and testing of samples treated with urethane primer Cortec VpCI 396, meant for application to structural steel. In conclusion, the work presents the results and evaluation of destructive and non-destructive testing of a coating system including the results of its exposure in corrosive environments.

Obsah

Seznam použitého označení a zkratk	8
Úvod.....	9
1. Koroze a podmínky jejího vzniku.....	10
1.1 Mechanismus koroze kovů.....	10
1.1.1 Chemická koroze	10
1.1.2 Elektrochemická koroze	11
2. Ochrana proti korozi	12
2.1 Inhibitory koroze	12
2.1.1 Fyzikální inhibitory	13
2.1.2 Chemické inhibitory	13
3. Povrchové úpravy kovů	16
3.1 Rozdělení povrchových úprav.....	16
4. Předběžné úpravy povrchu.....	18
4.1 Mechanické úpravy povrchu	18
4.1.1 Otryskání	18
4.1.2 Omílání	19
4.1.3 Broušení a leštění	19
4.1.4 Kartáčování.....	20
4.2 Chemické úpravy povrchu	20
4.2.1 Odmašťování	20
4.2.2 Moření	20
4.2.3 Elektrolytické leštění	21
5. Organické povlaky.....	22
5.1 Nátěrové hmoty.....	22
5.1.1 Složky nátěrových hmot	23
5.1.2 Nanášení nátěrů	24
6. Cíl práce.....	28
7. Metodika experimentálních prací	29
8. Popis a výsledky experimentálních prací.....	31
8.1 Výběr zkušebních vzorků.....	31

8.2 Předběžná příprava povrchu.....	32
8.2.1 Odmaštění povrchu.....	32
8.2.2 Broušení povrchu.....	33
8.2.3 Otryskání povrchu	34
8.3 Hodnocení povrchu vzorků	36
8.3.1 Stanovení prachu na povrchu podle normy ČSN ISO 8502-3	36
8.3.2 Hodnocení drsnosti povrchu podle normy ČSN EN ISO 4287	37
8.3.3 Měření povrchového napětí upravených povrchů pomocí testovacích inkoustů	39
8.4 Aplikace základního nátěru Cortec VpCI 396	40
8.4.1 Určení tloušťky mokré vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808.....	42
8.4.2 Určení tloušťky suché vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808.....	42
8.4.3 Stanovení obsahu sušiny výpočtem.....	44
8.5 Aplikace krycího nátěru	45
8.5.1 Určení tloušťky mokré a suché vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808.....	46
8.6 Zkoušení přilnavosti nátěrů.....	47
8.6.1 Odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1.....	47
8.6.2 Mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2	53
8.7 Korozní zkouška.....	55
8.7.1 Zkouška solnou mlhou podle normy ČSN EN ISO 9227.....	55
8.8 Hodnocení nátěrů	56
8.8.1 Hodnocení stupně puchýřkování podle normy ČSN EN ISO 4628-2	56
8.8.2 Hodnocení stupně prorezavění podle normy ČSN EN ISO 4628-3	57
8.8.3 Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu podle normy ČSN EN ISO 4628-8	57
8.8.4 Odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1.....	57
8.8.5 Mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2	63
8.9 Metalografické vyhodnocení vzorků.....	64
9. Závěr	66
10. Použitá literatura	69
Seznam příloh	71

Seznam použitého označení a zkratek

Označení/zkratka	Popis
Al	hliník
C	uhlík
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní norma
Mn	mangan
Nb	niob
P	fosfor
Ra	průměrná aritmetická úchylka profilu [μm]
Re	mez kluzu [MPa]
Rm	mez pevnosti v tahu [MPa]
Rz	největší výška profilu [μm]
S	síra
Sa	stupeň otryskání
Si	křemík
Ti	titan
V	vanad
VCI	těkavé inhibitory koroze
VOC	těkavá organická látka
VpCI	vypařovací inhibitory koroze
l	délka měřeného úseku [mm]
pH	kyselost [-]
λ_c	filtr profilu [mm]

Úvod

Koroze kovů představuje i v dnešní době stále velký problém. Ne všechny kovové části a předměty lze ale bez problému vyměnit. Obzvlášť opravy některých špatně přístupných nebo rozměrných kovových součástí, například stavebních nebo mostních konstrukcí jsou značně nákladné a ne vždy je lze bez obtíží technicky provést. Ve většině případů je mnohem výhodnější provádět preventivní opatření pro ochranu před vlivy prostředí. Dnes již existuje mnoho způsobů a technologií, kterými můžeme kovové materiály chránit. Možná, aniž si to dostatečně uvědomujeme, takováto ochrana je aplikovaná na většinu předmětů v našem okolí. Nejběžnějšími jsou mezi nimi ochranné nátěry. Nátěrové systémy představují jen jednu z možností ochrany kovových předmětů před korozí. Jejich výhodou je ale široká oblast použití a snadná aplikace, která z nich činí spolu s jejich cenou vhodné řešení tam, kde nelze použít jiné metody ochrany.

Vlastnosti samotné ochranné vrstvy nátěru však neochrání povrch materiálů před všemi možnými účinky koroze v odlišných prostředích. Pro vylepšení protekčních účinků jsou do nátěru proto přidávány další pomocné příměsi, jako například inhibitory. Ty reagují tím způsobem, že mění elektrochemické poměry v korozním prostředí tak, aby postup koroze zpomalily.

Vývoj v oblasti vědy a techniky vede také k objevování stále účinnějších způsobů ochrany povrchu kovových materiálů. Spolu s vývojem dosud používaných druhů ochranných prostředků tak vzniká rozsáhlý a různorodý sortiment výrobků pro použití v praxi. Při velkém rozsahu vyvíjených výrobků a dodávaných na trh není možné, aby zákazník testoval a porovnával vlastnosti každého takového prostředku. Každé vyhodnocení reálných účinků působení nátěrového systému a zkoušek povrchu pomocí metod simulujících skutečné podmínky korozního prostředí tak pomáhá zájemci vybrat si ten, který nejvíce vyhovuje jeho potřebám.

Abych vysvětlil principy, ze kterých budu vycházet, v první části práce se zaměřuji na procesy vzniku koroze, způsob ochrany povrchu kovů, používání inhibitorů v nátěrových systémech a na správnou aplikaci ochranných nátěrů. V další části se ověřuji vlastnosti nátěrové hmoty Cortec VpCI 396, obsahujícího inhibitory koroze, při testování jeho antikorozní odolnosti.

1. Koroze a podmínky jejího vzniku

Všechny materiály, tedy nejenom kovy, podléhají korozi. Koroze je samovolné, postupné a nevratné znehodnocování chemickými a fyzikálně chemickými vlivy okolního prostředí. Výsledkem je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. [1] [2]

Prostředí, ve kterém koroze probíhá, zahrnuje nejen atmosféru, ale také půdu, vodu a plyny. Toto prostředí se vyznačuje různým stupněm korozní agresivity. Například pro atmosféru, která je prostředím pro většinu používaných materiálů, lze předem zhruba odhadovat agresivitu různých typů. [1] [3]

Pro klasifikaci vnějšího prostředí jsou pro účely vyhodnocování korozní agresivity stanoveny stupně koroze:

- C1 velmi nízká koroze,
- C2 nízká koroze,
- C3 střední koroze,
- C4 vysoká koroze,
- C5-I velmi vysoká koroze (průmyslová),
- C5-M velmi vysoká koroze (přímořská), [4]
- CX extrémní koroze.

Činiteli, které na materiál působí v určitém prostředí, mohou být vlhkost, teplota, tlak nebo chemické složení materiálu. Prostředí může působit také abrazivními vlivy, mechanickým namáháním nebo zářením. Dalšími činiteli, které ovlivní rychlost korozního procesu, jsou vlastnosti samotného materiálu. Je to například složení kovu, jeho vnitřní struktura, charakter povrchu materiálu nebo vnitřní pnutí. [3]

1.1 Mechanismus koroze kovů

1.1.1 Chemická koroze

Tato koroze probíhá při vzájemném působení kovu a nevodivého okolního prostředí. Termodynamická nestálost kovu v prostředí vede k přechodu ke stabilnímu stavu zplodin koroze. To se projevuje u typického příkladu chemické koroze, kterou je oxidace.

Při ní se tvoří na povrchu kovového materiálu vrstva oxidů. V případě, že tato vrstva nebude nepropustná, reakce kovu s prostředím pokračuje do té doby, dokud se koroze nerozruší celý materiál. [1] [2]

1.1.2 Elektrochemická koroze

Ke korozi zde dochází při reakci materiálu s elektricky vodivým prostředím. Změny v kovových materiálech probíhají v elektrolytu, nejsou dány chemickou reakcí, ale jsou spojené s přenosem elektrického náboje. Elektrolytem v daném prostředí vlhké atmosféry, půdy a vody jsou obsažené kapalně roztoky kyselin, zásad a solí rozpuštěných ve vodě. [1]

2. Ochrana proti korozi

Koroze je pro nás nepříznivý děj, kterému se snažíme zabránit nebo jeho průběh zpomalit různými způsoby ochrany povrchů materiálů. Metody ochrany se vyvinuly z poznatků o mechanice a kinetice koroze. [1]

Způsob omezování korozních účinků můžeme rozdělit z hlediska jeho charakteru na: [1]

- změnu korozního prostředí omezením nebo odstraněním složky způsobující korozi,
 - odstraněním složky způsobující korozi
 - úpravou prostředí pomocí vhodného inhibitoru koroze
- elektrochemickou ochranu kovového povrchu,
 - katodickou ochranu
 - anodickou ochranu
- volbu vhodného konstrukčního materiálu,
- použití kovového nebo nekovového ochranného povlaku s korozními vlastnostmi odlišnými od základního materiálu. [1] [3]

2.1 Inhibitory koroze

Inhibitory jsou látky, jejichž úlohou je změnit složení vrstvy korozního prostředí mezi povrchem kovu a okolním prostředím pomocí změny mechanismu a kinetiky korozních procesů. Zpomalují rychlost korozních procesů ve vzniklé ochranné vrstvě tak, že vytvářejí při reakci s kovem tenké vrstvy prvků nebo sloučenin, které mění průběh korozního procesu. Povrch kovu, který obsahuje katodické a anodické prvky koroduje elektrochemicky právě tím, že jsou tyto prvky povrchu propojeny prostředím, které má charakter elektrolytu. Inhibitory vytváří vrstvy, které brání prostředí přístupu k mikroanodám nebo mikrokatodám povrchu, případně tvoří vrstvu současně na mikroanodách i mikrokatodách. Tento popis je však zjednodušující, probíhající procesy jsou mnohem složitější. [1]

Inhibitory jsou:

- s anodickou účinností,
- s katodickou účinností,
- s pasivačními vlastnostmi,
- vytvářející povlak. [1]

Podle mechanismu svého působení mohou být inhibitory fyzikální nebo chemické. [1]

2.1.1 Fyzikální inhibitory

Podstatou působení je proces, při kterém se plynné částice inhibitoru uvolněné z adsorbátu hromadí na povrchu kovu účinkem mezipovrchových přitažlivých Van der Waalsových sil. Tím, že ve vrstvách pokrývají jeho povrch:

- snižují rychlost anodické reakce koroze,
- brání depolarizaci,
- tvoří na povrchu bariéru proti pronikání látek z prostředí,
- mění vlastnosti elektrické dvojvrstvy. [1]

Tyto inhibitory se liší podle prostředí, pro které se používají a používají se také ve vzájemných kombinacích. [1]

2.1.2 Chemické inhibitory

Jsou to takové inhibitory, které tvoří ochrannou vrstvu chemicky. To znamená, že inhibitory reagují s kovem, oxidují jej, vytvářejí primární zplodiny koroze, případně zvyšují alkalitu v ochranné vrstvě. Dělíme je na: [1]

- chemisorbční,
- pasivační,
- povlakové,
- elektrochemické,
- destimulátory. [1]

Chemisorbční inhibitory

Při chemické adsorpci vznikají na rozdíl od fyzikální adsorpce chemické vazby mezi inhibitory a kovem. [1]

Pasivační inhibitory

Jedná se o nejrozšířenější skupinu používaných inhibitorů. Jejich podstatou je vytvoření pasivační vrstvy. To znamená, že vlastní redukcí vytváří korozní proud, který udržuje povrch v pasivním stavu. Do skupiny používaných inhibitorů patří například chromany, které vytvářením pasivního stavu brání oxidaci. Používají se pro ochranu v chladicích roztocích nebo v benzínových nádržích a potrubích. Dalšími jsou dusitany, které jsou však vhodné pouze pro ocel a litinu. Využívají se často pro ochranu výrobků při skladování a přepravě, při konzervování a v obalovém materiálu. [1]

Povlakové inhibitory

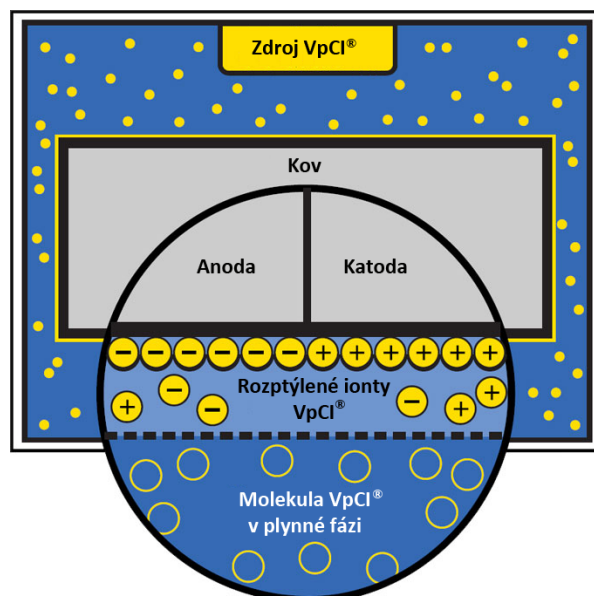
Jak vyplývá z jejich názvu, vyznačují se vytvářením ochranného povlaku na povrchu kovů. Patří mezi ně například ve vodních prostředích používané fosforečnany, křemičitany nebo uhličitany. Jejich využití je rovněž v obalové a konzervační technice, tvoří náplně chladičů nebo slouží pro ochranu rozvodů a zásobníků kapalin. [1]

Destimulátory

Jsou to látky, které odstraňují nežádoucí prvky z roztoku. Patří mezi ně kupříkladu hydrazin, který odstraňuje z vody kyslík. [5]

Jiným možným rozdělením inhibitorů koroze je podle druhu jejich kontaktu s kovem. Dělíme je na:

- Kontaktní inhibitory, účinné jen ve styku s kovovým povrchem. Jsou součástí jiných konzervačních prostředků, například olejů.
- Vypařovací inhibitory VCI jsou látky, které při vypařování nebo kondenzaci vytváří vrstvu bránící vzniku koroze. [6]



Obrázek 1 – *VCI inhibitory* [15]

V ochranných prostředcích se mohou zároveň nacházet oba typy těchto inhibitorů. [6]

Inhibitory označované jako VpCI jsou podle společnosti Cortec novou generací VCI inhibitorů. Jejich výhodou je jednoduchá aplikace, vysoká účinnost, šetrnost k životnímu prostředí a netoxičnost. Principem jejich funkce je působení mikroskopických částic, které jsou ve formě iontů rozptýlených v prostředí a jsou přitahovány kovovými povrchy. Na nich tvoří tenkou monomolekulární vrstvu chránící kov proti korozi. Protože nosiči VpCI inhibitorů mohou být pevné, kapalné i plynné látky, lze je použít v široké škále ochranných prostředků – v ochranných fóliích, impregnovaných obalech, konzervačních olejích, nátěrových hmotách, plynech v parovodech, technických plynech a dalších. [10] [11]

3. Povrchové úpravy kovů

Dlouhodobá životnost výrobku je ve velké míře určována kvalitou jeho povrchu. Ten je částí, která přichází do přímého styku s okolním prostředím. Jeho odolnost proti vlivům prostředí může být značně ovlivňována a zvyšována technologiemi povrchových úprav. Povrchovými úpravami měníme a určujeme funkční vlastnosti, které musí odpovídat účelu používání výrobku (otěruvzdornost, elektrická vodivost, tvrdost). Povrch má rovněž funkci estetickou, povrchové úpravy rozhodují o konečném požadovaném vzhledu předmětu. [1] [7]

3.1 Rozdělení povrchových úprav

Podle účelu:

- čištění a předběžné úpravy,
- úpravy pro zvýšení korozní odolnosti,
- úpravy pro požadovaný vzhled výrobku,
- úpravy pro speciální funkční vlastnosti. [1]

Podle charakteru vytvořeného povrchu:

- anorganické povlaky,
- kovové,
- oxidické,
- keramické a sklovité,
- organické povlaky,
- nátěrové hmoty,
- plastové,
- konzervační. [1]

Podle způsobu jejich vytvoření:

- chemické,
- elektrochemické (galvanické),
- difúzní,

- vakuové,
- chemicko-tepelné,
- termické,
- mechanické. [1] [7]

4. Předběžné úpravy povrchu

Přestože se povrchy kovů zdají mnohdy čisté, bývají z mikroskopického hlediska téměř vždy velmi znečištěné. Na povrchu se vyskytují mastné zbytky, prach, okuje, produkty chemických reakcí a rez. Všechny tyto nežádoucí částice je potřeba z povrchu odstranit. [1]

Očištění povrchu a jeho příprava před aplikací dalších úprav ovlivňuje kvalitu následných technologií. To, jaké je na povrchu množství nečistot a jaký je tvar povrchu, má vliv na velikosti sil, kterými k povrchu přilne další vrstva povlaku. [7]

Prostředky předběžné úpravy povrchu mohou být mechanické nebo chemické. Úpravami dosáhneme mimo odstranění nečistot z povrchu materiálu také změny struktury a geometrie. [1]

4.1 Mechanické úpravy povrchu

Mezi mechanické úpravy zařazujeme:

- otryskání,
- omílání,
- broušení,
- leštění,
- kartáčování. [1]

4.1.1 Otryskání

Tato technika bývá často využívána jako přípravná pro následující úpravy povrchu, avšak může být i finálním čištěním povrchu. Při této úpravě je využíván různý materiál vrhaný velkou rychlostí na opracováváný povrch. Tím se docílí očištění povrchu od počínající koroze, okují a dalších nečistot. Proces otryskání také mění mikrostrukturu a mikrogeometrii tryskaného povrchu. Na výsledné vlastnosti má velký vliv vhodně zvolený tryskací prostředek a jeho velikost. Velký význam má také jeho tvar, hmotnost, tvrdost, druh materiálu a jeho složení. Výsledek se dále reguluje tlakem, úhlem a vzdáleností tryskání a velikostí použité trysky. [1] [8]

Používaný tryskáč materiál:

- křemičitý písek (pozor – zdravotní závadnost),
- litinová drť,
- brusiva – jako karbid křemíku a umělý korund,
- sekaný drát,
- balotina,
- další materiály. [1]

Pro otryskání jsou používány pneumatické a mechanické tryskáčské zařízení. [1]

4.1.2 Omílání

Při omílání se v otáčejících bubnech opracovávají menší oblé předměty. U nepravidelných a větších předmětů by mohlo docházet k jejich poškození, buď nepravidelným obroušením především na hranách předmětů, nebo jejich odlomením. Kromě odstranění nečistot slouží k broušení a leštění povrchu předmětů. [1]

Zařízeními pro omílání jsou bubny a zvony. Jejich náplní jsou nosné a brusné kameny. Při mokřém omílání je to i kapalina, která zlepšuje průběh omílacího procesu. [1]

4.1.3 Broušení a leštění

K broušení povrchu se využívá stejný mechanický princip jako k leštění. Rozdíly mezi brusnými a lešticími kotouči jsou především v povrchu pásu těchto kotoučů. Na brusných kotoučích je nalepeno brusivo, které zasahuje do opracovávaného povrchu a odstraňuje jej. Podle zrnitosti brusiva je broušení používáno k hrubování, hlazení, jemnému hlazení, předlešťování a jemnému předlešťování. Ve většině případů předchází broušení procesu leštění. Lešticí kotouče mívají pouze povrch plstěný nebo látkový. Jako médium je používáno také brusných a leštících past. [1]

Nástroje pro leštění a broušení jsou především ruční stojanové leštičky a brusky, stroje a přípravky pro leštění a broušení rotačních nebo plochých výrobků. [1]

4.1.4 Kartáčování

Používá se jak k odstraňování koroze a hrubých nečistot povrchu, tak i ke zjemnění povrchu před leštěním. Podle toho používáme kartáče s kovovými dráty různé hrubosti nebo s měkkými přírodními či umělými vlákny. [1]

4.2 Chemické úpravy povrchu

U těchto úprav reagují s nečistotami povrchu chemická činidla. K úpravám patří:

- odmašťování,
- moření,
- elektrolytické leštění. [1]

4.2.1 Odmašťování

Probíhá pomocí odmašťovacích přípravků. Těmi uvolňujeme ulpělé nečistoty, které jsou k povrchu připoutány adsorpčně nebo adhezními silami. Jejich odstraněním nedochází ke změně povrchu. [8] [7]

Technologie dělíme podle způsobu odmašťování:

- v alkalických roztocích,
- v organických rozpouštědlech,
- elektrolytickým odmašťováním,
- v neutrálních roztocích,
- emulzním odmašťováním,
- opalováním,
- vysokotlakým kapalným odmašťováním. [1]

4.2.2 Moření

Mořením odstraňujeme z povrchu kovové oxidy, kterými jsou okuje a rez. Ty se na povrchu rozpouští pomocí kyseliny sírové, kyseliny solné, kyseliny fosforečné a dalších. Pro moření se používají ponorné vany, které musí daným kyselinám odolávat. Po ukončení moření se předměty oplachují vodou a vysuší. [1] [7] [8]

4.2.3 Elektrolytické leštění

Tento proces probíhá v elektrolytu, kdy je kov z povrchu odleptáván. Oproti mechanickému leštění, které je postupným obrušováním nerovností, elektrolyt odleptává kov současně na celé ploše povrchu. Leštěný povrch dosáhneme tímto způsobem rychleji a jednodušeji. [7]

5. Organické povlaky

Organické povlaky jsou v současnosti nejrozšířenějšími a nejekonomičtějšími způsoby povrchové ochrany. Jsou jimi povlaky z plastických a nátěrových hmot. Mechanismus povlaků z plastických hmot je bariérový. To znamená, že zcela zamezují přístup k povrchu materiálu a jejich povrch musí být bezpórovitý. Obecná představa nátěrových hmot je ta, že chrání povrchy materiálů před vlhkostí, kyslíkem a dalšími agresivními složkami prostředí. Přesto nejde o zcela nepropustné látky, a to ani v tom případě, že je vrstev několik. Svými vlastnostmi tak spíše působí jako membrána se selektivní propustností iontů a vody. Proto jsou do nich také přidávány antikorozi pigmenty a inhibitory, které zneškodňují agresivní složky, procházející z prostředí k povrchu materiálu. [1] [3]

5.1 Nátěrové hmoty

Aplikací nátěrové hmoty na povrch materiálu vytváříme nátěr. Nátěr je vrstvou, jejíž účel je:

- ochranný,
- dekorativní,
- signální,
- maskovací,
- speciální. [1]

Pro potřebu použití v odlišných podmínkách obsahují nátěrové hmoty různé organické látky. Na předměty jsou nanášeny v tekutém nebo těstovitém stavu a na povrchu vytvářejí film požadovaných vlastností. Tento film může být:

- transparentní – průhledný,
- pigmentovaný – neprůhledný. [1]

Další dělení nátěrů

Podle klimatické odolnosti:

- vnitřní,

- venkovní. [1]

Podle pořadí vrstev:

- napouštěcí,
- základní,
- podkladová,
- vrchní. [1]

Podle filmotvorné složky:

- polyesterové,
- chlórkaučukové,
- silikonové,
- syntetické,
- polyuretanové,
- emulzní – vodové,
- siloxanové,
- epoxidové. [1]

5.1.1 Složky nátěrových hmot

Nátěrové hmoty se skládají z pojiv, rozpouštědel, pigmentů, plnidel a aditiv. [1]

Pojiva

Jsou to netěkavé látky, vytvářející souvislý film, který na sebe váže částice pigmentů a plniv. Jejich různé požadované vlastnosti jsou dosahovány kombinací filmotvorných látek. Patří k nim i změkčovadla, které zajišťují vláčnost a pružnost filmu. [1] [9]

Rozpouštědla

Jsou těkavou složkou nátěru a rozpouštějí filmotvorné látky a ředí nátěry. Jsou jimi benzíny, benzen, terpentýn, alkoholy, ketony, estery kyseliny octové a glykoéter. [1]

Pigmenty

Pigmenty jsou jemné barvicí částičky rozptýlené v pojivu. Zlepšují vlastnosti nátěru, jako jsou například jeho tvrdost, tepelná a korozní odolnost. Dělíme je na:

- Inhibitorové pigmenty – chrání povrch kovu jeho pasivací. Používají se především pro základní nátěry.
- Neutrální pigmenty – určené pro zlepšení fyzikálních vlastností vrchních nátěrů a jako inertní substance u základních nátěrů.
- Stimulující pigmenty – chemicky netečné pigmenty s dobrou elektrickou vodivostí. Používají se ve vrchních nátěrech, pro základní vrstvy nejsou vhodné. Protože usnadňují korozi, jsou využívány v menší míře.

Plnidla

Jsou to minerální látky, které zabraňují smrštění nátěrové vrstvy. Jsou v pojivech nerozpustné, používá se například těživec, mastek nebo křída.

Aditiva

Aditiva jsou další pomocné přísady, které slouží jako sušidla, emulgátory, stabilizátory a zvláčňovadla. [1]

5.1.2 Nanášení nátěrů

Volba způsobu nanášení nátěrů má své výhody a nevýhody. Správným výběrem techniky můžeme ovlivnit výslednou kvalitu povrchové vrstvy a tím i životnost výrobku. Způsob nanášení nátěrů volíme například podle velikosti a tvaru výrobku, požadovaných vlastností a kvality, pracnosti a hospodárnosti dané technologie. [1]

Ruční nanášení nátěru štětcem

Ruční nanášení nátěru patří k nejstarším a zároveň stále používaným způsobům aplikace nátěru. Nevýhodou techniky manuálního nanášení je její malá produktivita, která se pohybuje okolo 15 m² natřené plochy za hodinu. Výhodou je dokonalé rozpracování nátěru, rozetření s přilnutím do pórů podkladu. Při tomto způsobu techniky

jsou také ztráty nátěrového prostředku nejnižší. Používaným nástrojem je zde štětec. Délky jeho štětín jsou přizpůsobeny hustotě nátěru. Při řidším používáme štětce s delšími štětínami, při hustším s kratšími. [1] [9]

Proces samotného natírání začneme ponořením štětce do nádoby s nátěrem, po hranici uchycení jeho štětín. Po odstranění přebytku nátěru a jeho rovnoměrného zaplnění prostoru mezi štětínami, štětec pečlivě vytřeme o hranu nádoby. Prostředek nanese štětcem na povrch předmětu. Provedeme celkem asi tři postupné nátěry. U každého dalšího nátěru zvýšíme tlak na štětec a překrýváme kolmo na předchozí směr natírání. Nakonec mírně štětcem povrch uhladíme, také kolmo ke směru posledního natírání. [1]

U velkých souvislých ploch je vhodnou alternativou k natírání štětcem nanášení prostředku válečkem. Výhodou je zvýšení produktivity, která se uvádí až 25 m² za hodinu na pracovníka. [7]

Nanášení nátěru navalováním

Nátěr se při této metodě nanáší navalovacím zařízením. To se skládá z nejméně tří pogumovaných bubnů a zásobníku nátěrové hmoty. Proces je automatizovaný, vrstva se reguluje vzdáleností válce od povrchu, rychlostí a směrem otáčení. Výhodou navalování nátěru jsou rovněž nízké ztráty nátěru. Metoda je vhodná pro rovinné plochy, jako jsou plechy, obaly, desky a jiné podobné předměty. [1]

Nanášení nátěru namáčením

Tato technologie je vhodná pro výrobky velkosériové výroby s požadovanou tloušťkou výsledné vrstvy asi 25-30 μm. Výrobky musí být také tvarově vhodné, jednoduchých tvarů, aby docházelo k stejnoměrnému namočení všech jejich ploch. [1] [7] [9]

Nátěr se nanáší na předmět ponořením do vany s prostředkem, ze které se rovnoměrnou rychlostí opět vynořuje. Přebytečný nátěr po vynoření z předmětu steče zpět do vany. Tvar vany by měl být přizpůsoben rozměru výrobků. Výrobky by měly mít menší rozměry, protože ve velkých vanách dochází ke zvýšení spotřeby nátěrového materiálu. [1]

Nevýhodou postupu může být klínovitý tvar nátěru, podtekliny, záclony a kapky na spodní straně máčeného předmětu. [7]

Nanášení nátěru poléváním

Polévání je obdobou předchozího postupu. Není při něm potřeba rozměrných van, proto je možné aplikovat technologii i na velké výrobky. Nejčastěji jsou předměty zavěšeny na dopravníku, který prochází kabinou. Tady je předmět poléván tryskami s nátěrem. Přebytný nátěr stéká do sběrných žlabů a vrací se zpět do procesu. [1] [7]

Metoda polévání má obdobné nevýhody, jako při nanášení namáčením. [1]

Nanášení nátěru pneumatickým stříkáním

V současnosti je tato technologie nejrozšířenějším způsobem nanášení nátěrů. Jedním z hlavních důvodů je její poměrně vysoká produktivita. Zpracování touto metodou dosahuje až 60 m² upravené plochy za hodinu při ručním stříkání a dokonce 200 m² za hodinu při stříkání pistolí mechanizovaným způsobem. Na ošetřeném povrchu se dosahuje rovnoměrné a hladké struktury nanášeného prostředku. Spočívá v rozprašování nátěru stlačeným vzduchem, který je do stříkací pistole přiveden kompresorem. Použití nátěru v pistolí je umožněno jeho dostatečným zředěním rozpouštědlem. [1] [7] [9]

Proces stříkání probíhá ve stříkacích kabinách. Kabiny jsou vybaveny odsávacími filtry, které zachycují nevyužitý rozstřík nátěrové hmoty a výpary organických rozpouštědel. [1] [7]

Kabiny dělíme na:

- Stolové, které slouží pro stříkání malých předmětů.
- Podlahové, sloužící pro větší předměty. Ty jsou již vybaveny podvěsným dopravníkem, vozíkem, kladkostrojem anebo jinými přepravními zařízeními.
- Tunelové, určené pro velké předměty. Pro přepravu v nich slouží především pomocné podvozky na kolejích nebo bez nich. [1]

K metodám nanášení nátěrů patří i jiné, zde nejmenované techniky. Jsou jimi například stříkání ohřátých nátěrů, nanášení nátěrů vysokotlakým stříkáním, nanášení nátěrů pomocí elektrických sil a další. [1]

Nanášení nátěru bezvzduchovým stříkáním

Bezvzduchové nanášení nátěrové hmoty, označované také jako airless, je rozšiřujícím se trendem aplikace nátěrů. Pod vysokým tlakem 5-28 MPa je nátěrová hmota přiváděna ze zásobníku do trysky stříkací pistole, kterou je nanášena na podklad. Stříkání je prováděno stlačením samotné nátěrové hmoty a ne pomocí vzduchu. Výhodami této techniky je větší rychlost nanášení nátěru, možnost nástřiku velkých ploch, aplikace i do těžko přístupných míst, menší spotřeba nátěrové hmoty a lepší kvalita vytvořeného povrchu. Tím se tato metoda stává efektivnější ve srovnání s klasickými metodami nanášení nátěru a může proti nim zvyšovat i několikanásobně produktivitu procesu. [13] [14]

6. Cíl práce

Cílem této práce je, pomocí získaného přehledu o organických nátěrových povlacích, korozních inhibitech a způsobu přípravy povrchu a aplikace nátěru, připravit experimentální vyhodnocení nátěrového systému s obsahem inhibitorů koroze. V rámci použití těchto nátěrových hmot jsou určeny postupy, které mnohdy vychází přímo z českého nebo mezinárodního standardu. Jenom tak, se znalostí stanovených technik a zásad, lze správně používat určené ochranné přípravky. V průběhu aplikace nátěrové hmoty s obsahem inhibitorů koroze Cortec VpCI 396 musí být rovněž dodrženy podmínky použití určené výrobcem. Konečným výsledkem experimentálního zkoušení bude určení vlivu rozdílných podmínek přípravy povrchu a expozice koroznímu prostředí na výsledné ochranné vlastnosti povlakové vrstvy. Předpokladem je nejvyšší účinnost nátěrového systému na povrchu připraveném otryskáním, nejnižší na odmaštěném. Dále se předpokládá snižování účinnosti ochranné vrstvy v důsledku vystavení vzorků koroznímu prostředí.

Při dodržení normovaných postupů lze získat relevantní výsledky, které by mohly být porovnávány a ověřovány s dalšími způsoby zkoušení nátěrových systémů. Získané výsledky tak lze využít případnými zájemci pro porovnání vhodnosti a trvanlivosti s obdobnými nebo alternativními prostředky protikoroze ochrany.

Tato práce může také sloužit jako návod pro praktické používání tohoto konkrétního prostředku, od jednotlivých zásad přípravy povrchu až po aplikaci nátěrového systému.

7. Metodika experimentálních prací

Pro přípravu povrchu a zkoušení nátěrového hmoty Cortec VpCI 396 je stanoven tento postup:

- výběr zkušebních vzorků
- předběžná příprava povrchu
 - odmaštění povrchu
 - ruční broušení povrchu
 - příprava otryskáním podle normy ČSN EN ISO 8501-1
- hodnocení povrchu vzorků
 - stanovení prachu samolepící páskou podle normy ČSN ISO 8502-3
 - hodnocení drsnosti povrchu podle normy ČSN EN ISO 4287
- aplikace základního nátěru Cortec VpCI 396
 - určení tloušťky mokré a suché vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808
- aplikace krycího nátěru
 - určení tloušťky mokré a suché vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808
- zkoušení přilnavosti nátěrů
 - odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1
 - mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2
- korozní zkouška
 - zkouška solnou mlhou podle normy ČSN EN ISO 9227
- hodnocení nátěrů
 - hodnocení stupně puchýřkování podle normy ČSN EN ISO 4628-2
 - hodnocení stupně prorezavění podle normy ČSN EN ISO 4628-3

- hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu podle normy ČSN EN ISO 4628-8
 - odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1
 - mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2
- metalografické vyhodnocení vzorků

8. Popis a výsledky experimentálních prací

8.1 Výběr zkušebních vzorků

Zkušební vzorky byly vyrobeny z ocelového plechu válcovaného za tepla s označením S355MC. Jde o konstrukční ocel vhodnou zejména ke svařování konstrukcí. Výrobce plechu je společnost ArcelorMittal Ostrava a.s. Na zkušební vzorky byly použity části plechu o rozměrech 100 x 150 x 30 mm. Mechanické a chemické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Tabulka 1 – Chemické složení oceli S355MC

Chemický prvek	C	Mn	Si	P	S	V	Al	Ti	Nb
Hmotnostní podíl [%]	0,062	0,931	0,019	0,013	0,008	0,001	0,034	0,002	0,032

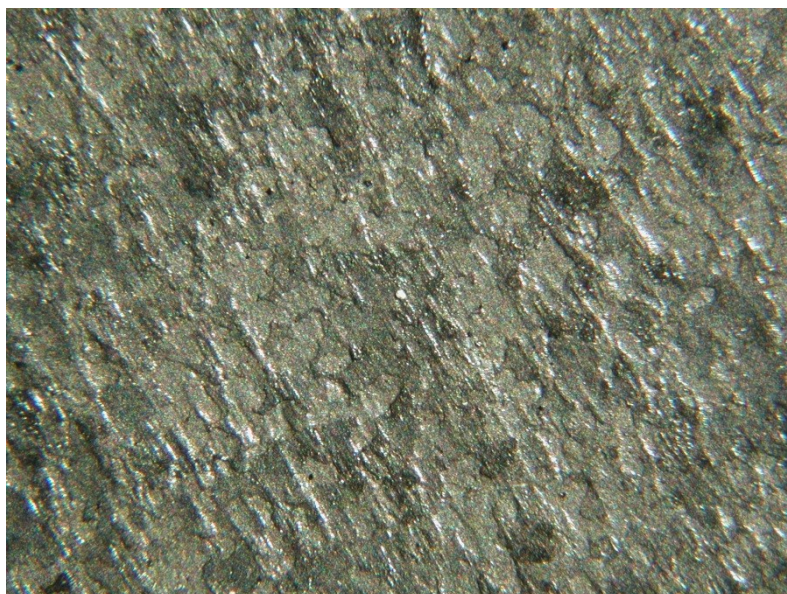
Tabulka 2 – Mechanické vlastnosti oceli S355MC

R _m [MPa]	R _e [MPa]	Tažnost A ₅ [%]
450	377	34,5

Pro testování bylo vybráno 24 vzorků a byly rozděleny do tří skupin podle způsobu předběžné úpravy jejich povrchu. Vzorky určené pro úpravu povrchu odmaštěním byly dále označeny zkratkou ODM, broušením BRO a otryskáním TRY.



Obrázek 2 – Fotografická dokumentace povrchu vstupního materiálu



Obrázek 3 – Detail povrchu podkladového materiálu – dokumentováno metalografickým mikroskopem Neophot 2. Zvětšení 20 ×

8.2 Předběžná příprava povrchu

8.2.1 Odmaštění povrchu

U 8 vzorků byl jejich povrch odmaštěn. Odmaštění bylo provedeno univerzálním průmyslovým odmašťovacím a čistícím prostředkem Simple Green.

Prostředek byl naředěn dle návodu v poměru 1 : 10. Vzorky byly na 8 minut ponořeny v odmašťovací vaně do roztoku odmašťovacího prostředku. Poté byly vzorky opláchnuty ponorem ve vodě po dobu 5 minut.

Přístrojem pH metr Eutech pH 5+ byla v průběhu přípravy změřena teplota lázně a její pH hodnoty. Hodnoty zjištěné v průběhu odmašťování jsou zaznamenány v tabulce 3.

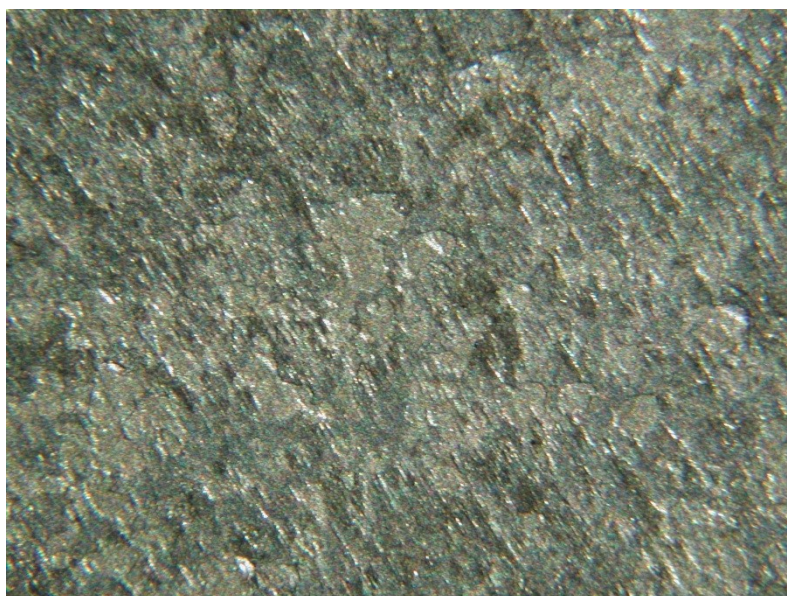
Tabulka 3 – Teplota a pH hodnoty při odmašťování vzorků

	pH [-]	Teplota [°C]
odmašťovací prostředek	10,24	
voda přidaná do lázně	9,05	
roztok odmašťovací lázně	10,49	24,20
voda oplachu		24,60

Po opláchnutí byly vzorky vloženy do sušící pece označené SN 30/4 výrobce Závody elektrotepelných zařízení (ZEZ) Praha. Byly sušeny při teplotě 100 °C po dobu 5 minut.



Obrázek 4 – *Fotografická dokumentace povrchu odmaštěného vzorku*



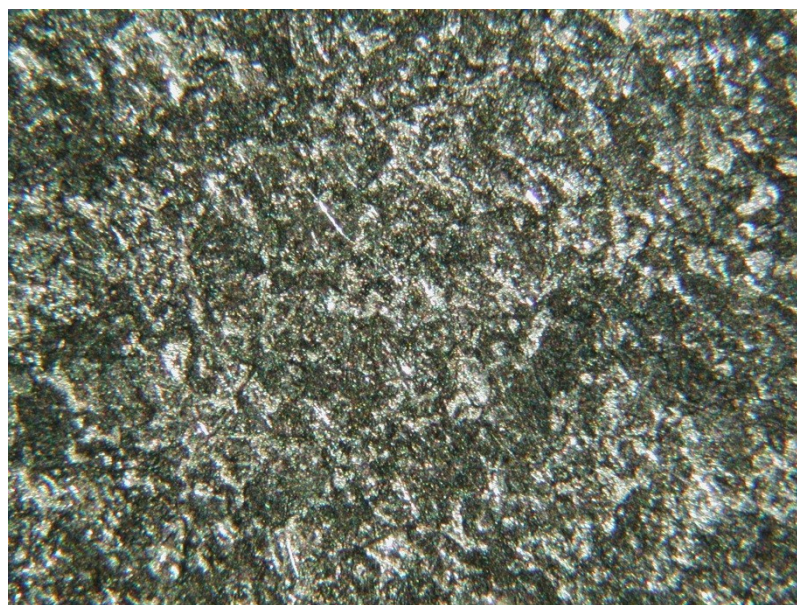
Obrázek 5 – *Detail odmaštěného povrchu – dokumentováno metalografickým mikroskopem Neophot 2. Zvětšení 20 ×*

8.2.2 Broušení povrchu

Povrch dalších 8 vzorků byl upraven broušením. K broušení byla použita ruční multibruska Bosh PSM Primo s brusným papírem o zrnitosti 80.



Obrázek 6 – *Fotografická dokumentace povrchu broušeného vzorku*



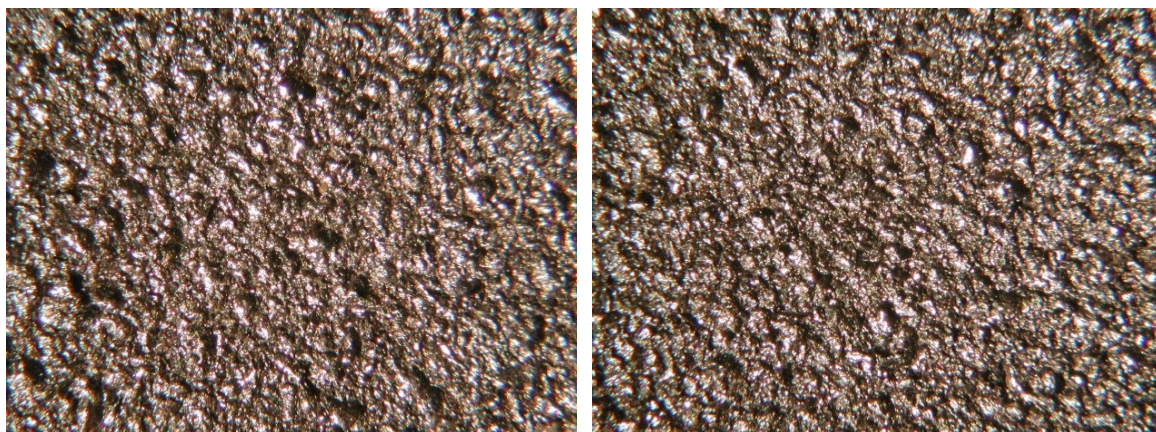
Obrázek 7 – *Detail broušeného povrchu – dokumentováno metalografickým mikroskopem Neophot 2. Zvětšení 20 ×*

8.2.3 Otryskání povrchu

Posledních 8 vzorků bylo otryskáno. K otryskání byla použita tryska SN159-550P 5/16" (7,9 mm). Tlak se upravil podle druhu materiálu a množství rzi, vzorky byly otryskány tlakem 7 barů. Tryskacím materiálem byla ostrohranná ocelová drť odpovídající hrubosti označená GL 40. Otryskání bylo provedeno do stupně čistoty Sa 2½ určeného normou ČSN EN ISO 8501-1.



Obrázek 8 – *Fotografická dokumentace povrchu otryskaného vzorku*



Obrázek 9 a 10 – *Detail otryskaného povrchu a otryskaného povrchu po ofuku stlačeným vzduchem – dokumentováno metalografickým mikroskopem Neophot 2. Zvětšení 20 ×*

Pro stanovení drsnosti otryskaného povrchu byl použit v souladu s normou ČSN EN ISO 8503-1 ISO komparátor profilu povrchu. Vzorek byl vyhodnocen jako odpovídající segmentu 2 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 3 ve stupni drsnosti střední (G).



Obrázek 11 – *Vyhodnocení drsnosti ISO komparátorem profilu*

Jmenovitá hodnota je pro tento segment u oceli otryskané ostrohrannými tryskami prostředky stanovena normou ČSN EN ISO 8503-1 na 60 μm a tolerance hloubky drsnosti profilů povrchu 10 μm .

8.3 Hodnocení povrchu vzorků

8.3.1 Stanovení prachu na povrchu podle normy ČSN ISO 8502-3

Zkouška množství prachových částic byla provedena samolepící páskou o šířce 25 mm. Ta byla nalepena na jednotlivé druhy očištěných vzorků a přitlačena k povrchu. Sejmutí bylo provedeno pod úhlem 180°, poté byla páska nalepena na bílý papír. Odhadem bylo určeno množství prachu a velikost jednotlivých částic u každého zkoušeného vzorku. Hodnocení prašnosti je uvedeno v tabulce 4.

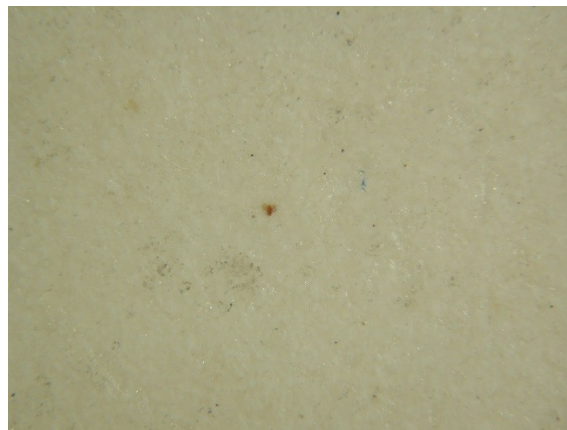
Tabulka 4 – *Hodnocení prašnosti*

Úprava povrchu	Množství prachu	Velikost prachových částic
odmaštěný	3	2
broušený	5	1
otryskaný	2	1
otryskaný po ofuku stlačeným vzduchem	1	1

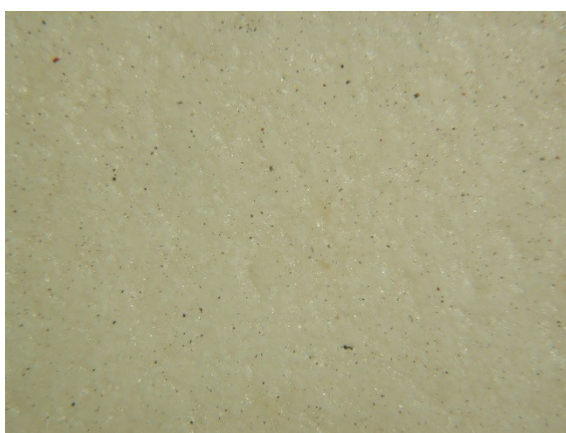
Pro porovnání byla provedena nenormovaná zkouška bílou plastelínou. Na povrch vzorku byla přitisknuta bílá plastelína, do níž se zachytily prachové částice z povrchu. Pomocí mikroskopu Neophot 2 byly pořízeny snímky plastelíny s prachovými částicemi ve 20 násobném zvětšení.



Obrázek 12 – Částice z odmaštěného povrchu zachycené do plastelíny



Obrázek 13 – Částice z broušeného povrchu zachycené do plastelíny



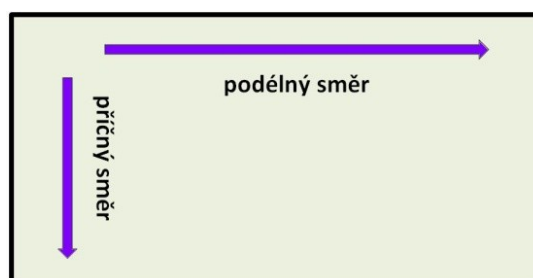
Obrázek 14 – Částice z otryskaného povrchu zachycené do plastelíny



Obrázek 15 – Částice z otryskaného povrchu po ofuku zachycené do plastelíny

8.3.2 Hodnocení drsnosti povrchu podle normy ČSN EN ISO 4287

U všech skupin vzorků bylo provedeno měření drsnosti podle normy ČSN EN ISO 4287. K měření bylo použito drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301, měřilo se v podélném a příčném směru. V tabulkách je zaznamenána průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra a největší výška profilu Rz pro každou skupinu vzorků.



Obrázek 16 – Schéma orientace měření drsnosti v podélném a příčném směru

Tabulka 5 – *Drsnost neupraveného povrchu*

	Parametr	Hodnota měření [μm]			Průměr měření [μm]
		1	2	3	
podélné měření	Ra	1,97	1,09	1,97	1,68
	Rz	10,73	6,98	8,87	8,86
příčné měření	Ra	1,54	1,76	2,19	1,83
	Rz	10,41	10,91	11,39	10,90
Parametry měření		standard měření ISO 1997, $\lambda_C = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$			

Tabulka 6 – *Drsnost odmaštěného povrchu připravených vzorků*

	Parametr	Hodnota měření [μm]			Průměr měření [μm]
		1	2	3	
podélné měření	Ra	2,36	1,46	2,12	1,98
	Rz	14,58	9,03	11,76	11,79
příčné měření	Ra	1,33	1,39	1,58	1,43
	Rz	8,56	9,20	10,31	9,36
Parametry měření		standard měření ISO 1997, $\lambda_C = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$			

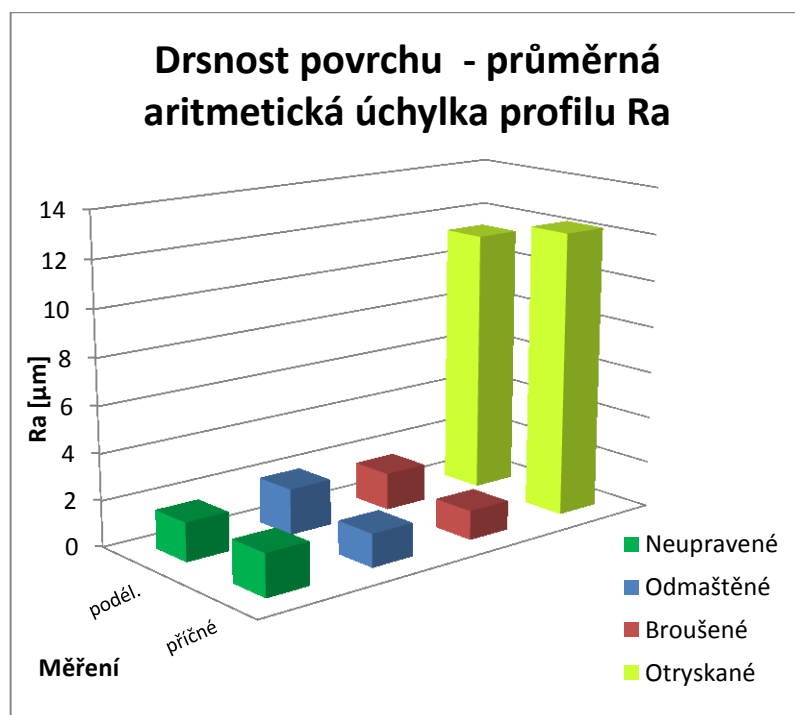
Tabulka 7 – *Drsnost broušeného povrchu připravených vzorků*

	Parametr	Hodnota měření [μm]			Průměr měření [μm]
		1	2	3	
podélné měření	Ra	1,69	1,31	1,81	1,60
	Rz	8,93	7,93	9,74	8,87
příčné měření	Ra	1,54	0,98	1,24	1,25
	Rz	7,34	6,54	6,70	6,86
Parametry měření		standard měření ISO 1997, $\lambda_C = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$			

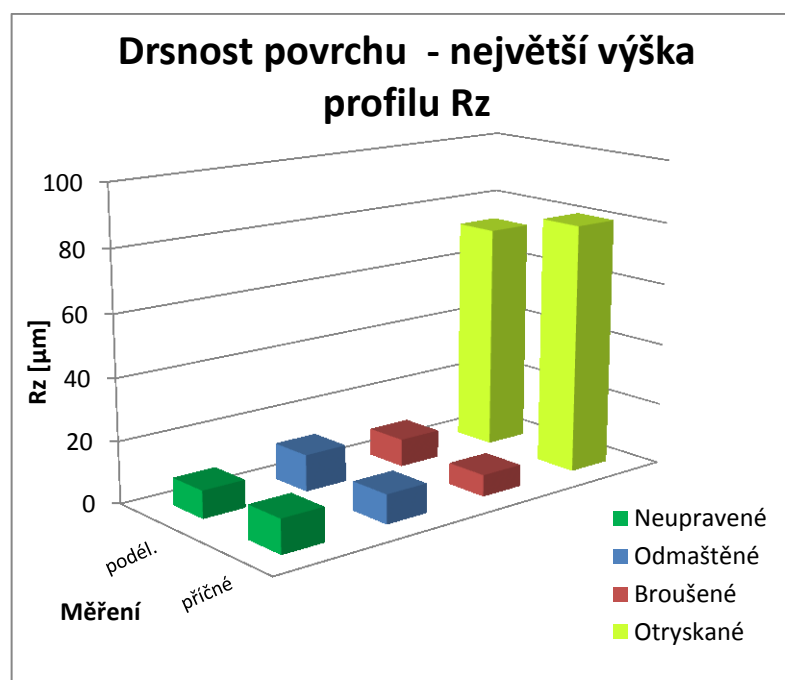
Tabulka 8 – *Drsnost otryskaného povrchu připravených vzorků*

	Parametr	Hodnota měření [μm]			Průměr měření [μm]
		1	2	3	
podélné měření	Ra	11,38	11,49	11,23	11,37
	Rz	70,31	79,76	69,25	73,11
příčné měření	Ra	12,75	11,78	12,22	12,25
	Rz	83,77	75,64	82,09	80,50
Parametry měření		standard měření ISO 1997, $\lambda_C = 2,5 \text{ mm}$, $l = 12,5 \text{ mm}$			

Grafy zobrazují srovnání průměrných hodnot Ra a Rz mezi jednotlivými skupinami vzorků.



Graf 1 – Srovnání hodnot Ra skupin vzorků





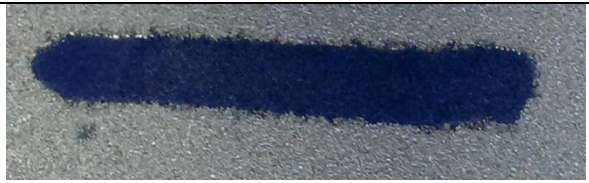
Graf 2 – Srovnání hodnot Rz skupin vzorků

8.3.3 Měření povrchového napětí upravených povrchů pomocí testovacích inkoustů

Pro zjištění vhodnosti povrchu pro aplikaci nátěrové hmoty byl povrch upravených vzorků testován pomocí testovacího inkoustu. Pro ověření povrchu byl k testování zvolen ze sady inkoustů s rozsahem hodnot povrchového napětí od 35 do 40 mN.m⁻¹ inkoust

s hodnotou 38 mN.m^{-1} . Inkoust byl nanesen štětcem na povrchy vzorků, kde byl pozorován po dobu asi 2 sekund, zda se tzv. neslije v kapky. Pokud se souvislost linky nezmění, je povrch vhodný k aplikaci nátěrové hmoty. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 9 – Měření povrchového napětí

Označení vzorku	Fotografická dokumentace	Výsledek
ODM1		vhodný k aplikaci nátěru
BRO1		vhodný k aplikaci nátěru
TRY1		vhodný k aplikaci nátěru

8.4 Aplikace základního nátěru Cortec VpCI 396

Prostředek VpCI 396 je základní jednosložkový uretanový nátěr s obsahem VpCI inhibitorů koroze v plynné fázi. Je odolný proti vlhkosti a dá se používat pro hrubě připravenou konstrukční ocel a jiné kovy. Nátěrové hmoty s obsahem inhibitorů jsou dosud v technické praxi rozšířeny v malé míře.

Doporučené podmínky aplikace nátěru:

Teplotní omezení:	0-38 °C
Okolní vlhkost:	20-80 %
Jiné podmínky:	dokonale suchý povrch podkladu

Fyzikální vlastnosti:

Teoretická vydatnost:	24 m ² /l
Objem sušiny:	67-72 %
Obsah VOC:	330 g/l
Doba, po které je možné se nátěru dotýkat:	1 h 24 °C 50 %
Doba pro používání nebo druhý nátěr:	4 h 24 °C 50 %

Další podrobnosti specifikace a použití nátěru Cortec VpCI 396 je uvedeno v technickém listu nátěrové hmoty zařazeného jako příloha A této práce.

Nátěr VpCI 396 byl dodán v 19 litrové nádobě. Po otevření byl vyhodnocen jako viskózní roztok obsahující barevný pigment stříbrného odstínu. U dna nádoby byla usazenina nátěrové hmoty, která musela být před použitím důkladně promíchána se zbývajícím obsahem.

Základní nátěr byl aplikován na všechny vzorky ručně štětcem. Natírání základního nátěru proběhlo ve dvou termínech – po odmaštění a broušení první části vzorků a po otryskání druhé části vzorků. V obou případech byly měřeny klimatické podmínky při aplikaci nátěru. K měření byl použit kombinovaný teploměr-vlhkoměr Elcometer 319 a hodnoty byly zaznamenány v tabulce.

Tabulka 10 – Klimatické podmínky při aplikaci nátěru VpCI 396

	Vzorky po odmaštění a broušení	Vzorky po otryskání
teplota okolí [°C]	21,7	21,0
teplota povrchu [°C]	22,0	21,4
relativní vlhkost [%]	40,2	30,2
rosný bod [°C]	8,0	3,3
rozdíl mezi rosným bodem a teplotou povrchu [°C]	13,9	17,6

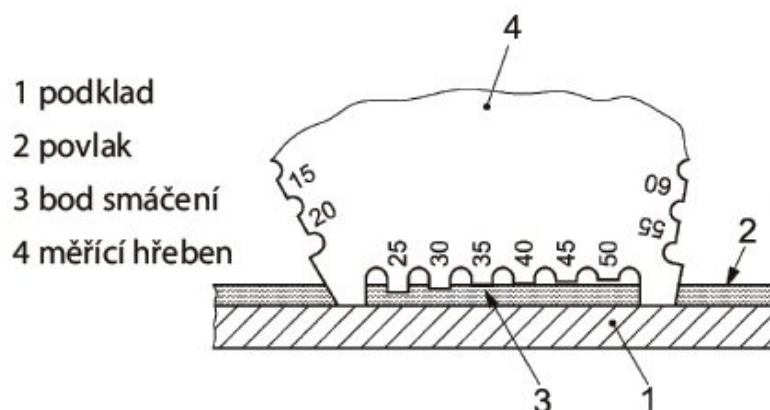
Vytvořený nátěr byl vizuálně rovnoměrný a celistvý, bez viditelných defektů.



Obrázek 17 – Fotografická dokumentace povrchu s mokrou vrstvou základního nátěru

8.4.1 Určení tloušťky mokré vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808

V průběhu aplikace nátěru byla měřícím hřebenem kontrolována tloušťka mokré vrstvy. Měřící hřeben byl opřen o povrch a byla zaznamenána hodnota dvou sousedních zubů – nátěrem potřísněného a suchého zubu. Tyto hodnoty byly zprůměrovány. Všechny hodnoty mokré vrstvy byly v rozmezí od 75 do 125 μm .



Obrázek 18 – Způsob kontroly tloušťky nátěru měřícím hřebenem [16]

8.4.2 Určení tloušťky suché vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808

Tloušťka suché vrstvy byla u všech vzorků zjišťována nedestruktivním způsobem, měřením digitálním tloušťkoměrem Elcometer 456 FNF. Tento přístroj je vybaven kombinovanou FNF sondou, která je použitelná pro měření nemagnetických nátěrů jak na magnetických, tak na nemagnetických kovových podkladech. Tloušťkoměr použitý k měření byl kalibrován certifikovanou kalibrací. Kalibrace přístroje proběhla i před měřením povrchu pomocí kalibrační sady fólií.

Přístrojem bylo provedeno na ploše povrchu každého vzorku 10 měření a z displeje byla odečtena nejmenší, největší a průměrná tloušťka nátěru. Tyto údaje zobrazují tabulky měření na vzorcích rozdělených do skupin podle druhu předúpravy povrchu.

Tabulka 11 – *Tloušťka suché vrstvy u odmaštěných vzorků*

Označení vzorku	Počet měření	Průměrná hodnota [μm]	Nejnižší hodnota [μm]	Nejvyšší hodnota [μm]
ODM1	10	44,12	32,90	53,70
ODM2	10	52,88	36,10	76,20
ODM3	10	44,99	30,00	70,00
ODM4	10	35,42	15,50	48,40
ODM5	10	46,31	36,00	64,50
ODM6	10	28,50	15,30	38,40
ODM7	10	50,46	30,30	69,60
ODM8	10	48,93	34,50	64,80

Tabulka 12 – *Tloušťka suché vrstvy u broušených vzorků*

Označení vzorku	Počet měření	Průměrná hodnota [μm]	Nejnižší hodnota [μm]	Nejvyšší hodnota [μm]
BRO1	10	40,84	31,30	56,80
BRO2	10	37,05	31,30	41,30
BRO3	10	44,92	38,00	53,80
BRO4	10	37,81	26,50	51,30
BRO5	10	37,40	27,70	56,40
BRO6	10	32,19	21,00	46,80
BRO7	10	42,31	34,20	50,60
BRO8	10	55,46	33,30	93,40

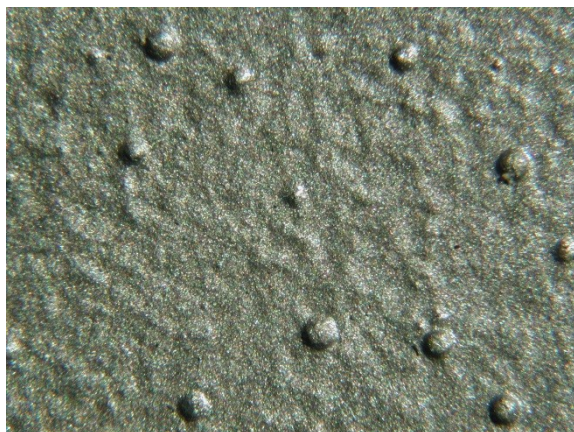
Tabulka 13 – *Tloušťka suché vrstvy u otryskaných vzorků*

Označení vzorku	Počet měření	Průměrná hodnota [μm]	Nejnižší hodnota [μm]	Nejvyšší hodnota [μm]
TRY1	10	61,88	50,50	74,30
TRY2	10	61,63	42,70	78,70
TRY3	10	56,08	47,90	68,90
TRY4	10	73,42	55,50	92,70
TRY5	10	51,54	36,60	64,20
TRY6	10	83,47	68,80	104,00
TRY7	10	53,86	34,60	64,90
TRY8	10	58,63	34,50	70,60

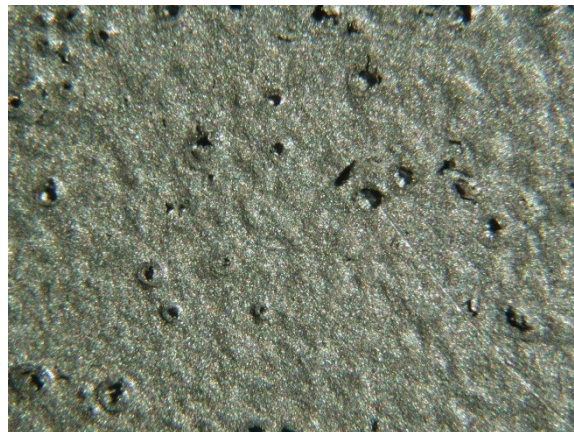


Obrázek 19 – *Fotografická dokumentace povrchu se suchou vrstvou základního nátěru*

Povrch vzorků byl vizuálně vyhodnocen jako rovnoměrný a celistvý, bez prasklin a jiných defektů. Pouze u otryskaných vzorků byla zjištěna přítomnost puchýřků, u kterých lze po seškrábnutí vrchní části puchýřku při makroskopickém pohledu pozorovat jejich dutý tvar.



Obrázek 20 – *Detail povrchu otryskaných vzorků s puchýřky*



Obrázek 21 – *Detail povrchu se seškrábnutými puchýřky*

8.4.3 Stanovení obsahu sušiny výpočtem

Pro kontrolní porovnání byl vypočítán obsah sušiny v nátěrové hmotě. Tento obsah vyjadřuje poměr netěkavých látek k celkovému objemu materiálu. Vzorec pro její zjištění:

Obsah sušiny = zjištěná tloušťka suché vrstvy/zjištěná tloušťka mokré vrstvy $\times 100$

Průměrná měřená hodnota mokré vrstvy byla stanovena na 100 μm .

Vypočítaný průměr všech měření suché vrstvy je 49,17 μm .

Obsah sušiny vypočtený = $49,17/100 \times 100 = 49,17 \%$

Tento údaj je však pouze orientační, ovlivněný rozsahem intervalu tloušťky mokré vrstvy a nestejnou tloušťkou vrstvy při daném způsobu ruční aplikace nátěrové hmoty štětcem.

8.5 Aplikace krycího nátěru

Na polovinu vzorků všech 3 skupin se suchým základním nátěrem byl aplikován běžně používaný vrchní krycí nátěr. Jde o dvousložkový polyuretanový nátěr vytvrzovaný alifatickým izokyanátem. Nátěr obsahuje pigment modré barvy a je určen pro venkovní použití.

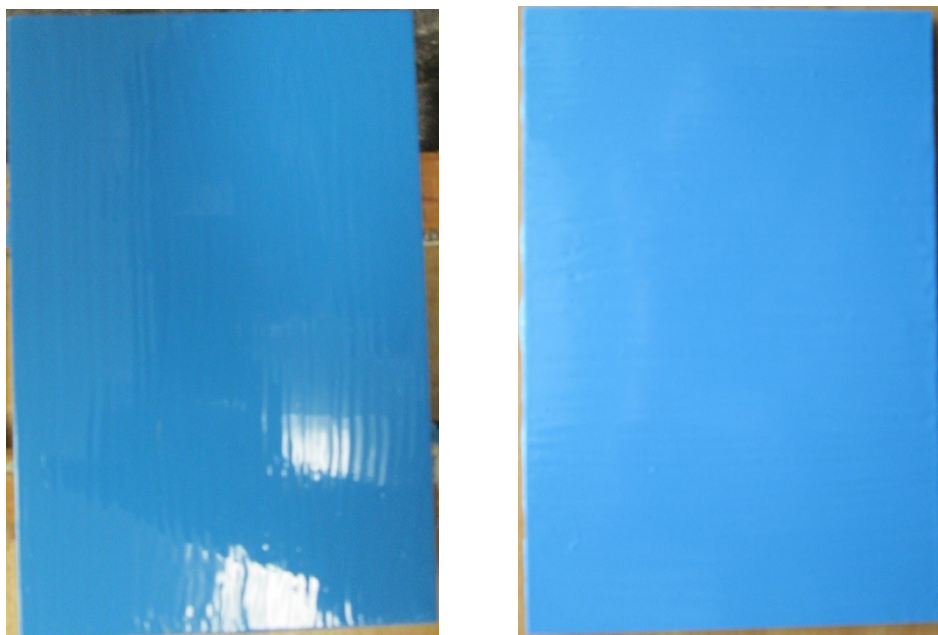
Fyzikální vlastnosti:

Teoretická vydatnost:	6,7 m ² /l
Objem sušiny:	67 %
Obsah VOC:	336 g/l
Suchý povrch:	3 h 20 °C
Plně vytvrzen:	7 dnů 20 °C

Nátěrová hmota byla dle návodu smíchána s tužidlem v poměru 7 : 1. Nátěr byl ručně aplikován štětcem. Klimatické podmínky byly rovněž měřeny teploměrem-vlhkoměrem Elcometer 319 a jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14 – Klimatické podmínky při aplikaci krycího nátěru

	Hodnoty
teplota okolí [°C]	21,5
teplota povrchu [°C]	21,7
relativní vlhkost [%]	34,2
rosný bod [°C]	5,3
rozdíl mezi rosným bodem a teplotou povrchu [°C]	16,3



Obrázek 22 a 23 – Fotografická dokumentace povrchu s mokrou a suchou vrstvou krycího nátěru

8.5.1 Určení tloušťky mokré a suché vrstvy podle normy ČSN EN ISO 2808

Tloušťka mokré vrstvy byla kontrolována měřícím hřebenem. Naměřené hodnoty byly v rozmezí od 75 do 125 μm .

Tloušťka suché vrstvy byla změřena tloušťkoměrem Elcometer 456 FNF a hodnoty byly zaznamenány v tabulkách. Rozdílem mezi naměřenými hodnotami suchých vrstev s krycím nátěrem a hodnotami suché vrstvy základního nátěru byly zjištěny průměrné hodnoty krycí vrstvy.

Tabulka 15 – Tloušťka suché vrstvy krycího nátěru u odmaštěných vzorků

Označení vzorku	Počet měření	Průměrná hodnota nátěrového systému [μm]	Nejnižší hodnota nátěrového systému [μm]	Nejvyšší hodnota nátěrového systému [μm]	Průměrná hodnota základní vrstvy [μm]	Průměrná hodnota krycí vrstvy [μm]
ODM3	10	88,75	57,60	128,00	44,99	43,76
ODM4	10	94,77	77,20	132,00	35,42	59,35
ODM7	10	96,45	89,10	108,00	50,46	45,99
ODM8	10	98,71	70,60	128,00	48,93	49,78

Tabulka 16 – *Tloušťka suché vrstvy krycího nátěru u broušených vzorků*

Označení vzorku	Počet měření	Průměrná hodnota nátěrového systému [μm]	Nejnižší hodnota nátěrového systému [μm]	Nejvyšší hodnota nátěrového systému [μm]	Průměrná hodnota základní vrstvy [μm]	Průměrná hodnota krycí vrstvy [μm]
BRO3	10	81,90	61,40	96,40	44,92	36,98
BRO4	10	93,47	72,00	116,00	37,81	55,66
BRO7	10	86,32	65,20	111,00	42,31	44,01
BRO8	10	112,30	91,00	131,00	55,46	56,84

Tabulka 17 – *Tloušťka suché vrstvy krycího nátěru u otryskaných vzorků*

Označení vzorku	Počet měření	Průměrná hodnota nátěrového systému [μm]	Nejnižší hodnota nátěrového systému [μm]	Nejvyšší hodnota nátěrového systému [μm]	Průměrná hodnota základní vrstvy [μm]	Průměrná hodnota krycí vrstvy [μm]
TRY3	10	108,50	93,80	122,00	56,08	52,42
TRY4	10	127,10	103,00	148,00	73,42	53,68
TRY7	10	123,60	115,00	143,00	53,86	69,74
TRY8	10	118,90	103,00	146,00	58,63	60,27

8.6 Zkoušení přilnavosti nátěrů

8.6.1 Odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1

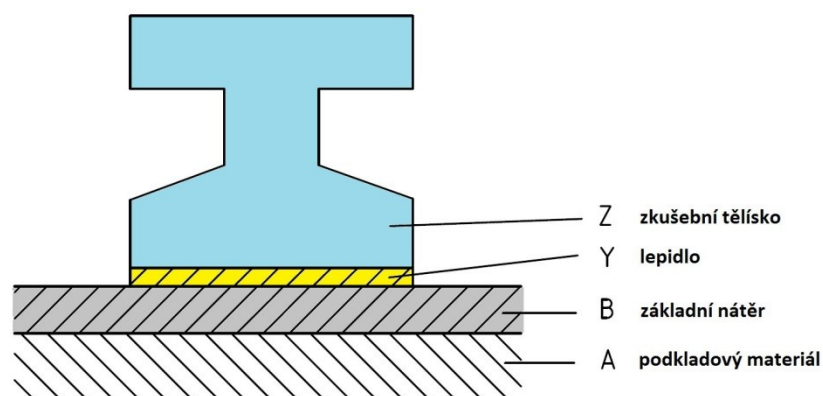
Principem této destruktivní zkoušky je odtržení zkušebního tělíska (válečku) přilepeného k dostatečně vytvrzené vrstvě nátěru. Každý vzorek byl testován 2 válečky.

Před provedením odtrhové zkoušky byl přilepen zkušební váleček k povrchu zkoumaného podkladu. Plocha válečku a povrch nátěru v místě jeho přilepení byly lehce obroušeny. K upevnění bylo použito dvousložkové epoxidové lepidlo Araldite, jehož složky A a B se smísily v poměru 1 : 1. Lepidlo bylo dostatečně vytvrzeno, doba vytvrzení je 24 hodin.

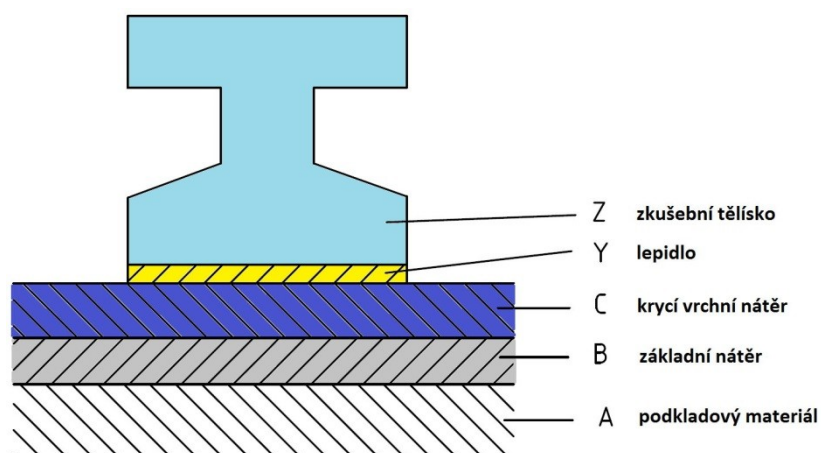
Při odtrhové zkoušce byl nejdříve po obvodu válečku speciálním řezným nástrojem proříznut nátěr až k podkladovému materiálu. Válečky byly odtrhovány mechanickým

odtrhoměrem Elcometer F106 s rozsahem stupnice 0-7 MPa. Po odtržení válečku byla odečtena odtrhová pevnost a vizuálně vyhodnocován charakter lomu v odtržené ploše.

Obrázek 24 a 25 znázorňuje schéma pořadí jednotlivých vrstev u odtrhové zkoušky pro základní nátěr a pro vrstvy s krycím nátěrem. Poškození, které vzniklo mezi dvěma vrstvami je charakterizováno jako adhezní a je označeno písmeny obou vrstev (oddělenými lomítkem). Lom v jedné vrstvě je označován jako kohezní poškození a zaznamenává se písmeno označující poškozenou vrstvu. Ve všech případech se zároveň určuje procento takto poškozené plochy.











Obrázek 24 – *Popis jednotlivých vrstev u odtrhové zkoušky pro základní nátěr*







Obrázek 25 – *Popis jednotlivých vrstev u odtrhové zkoušky pro krycí nátěr*

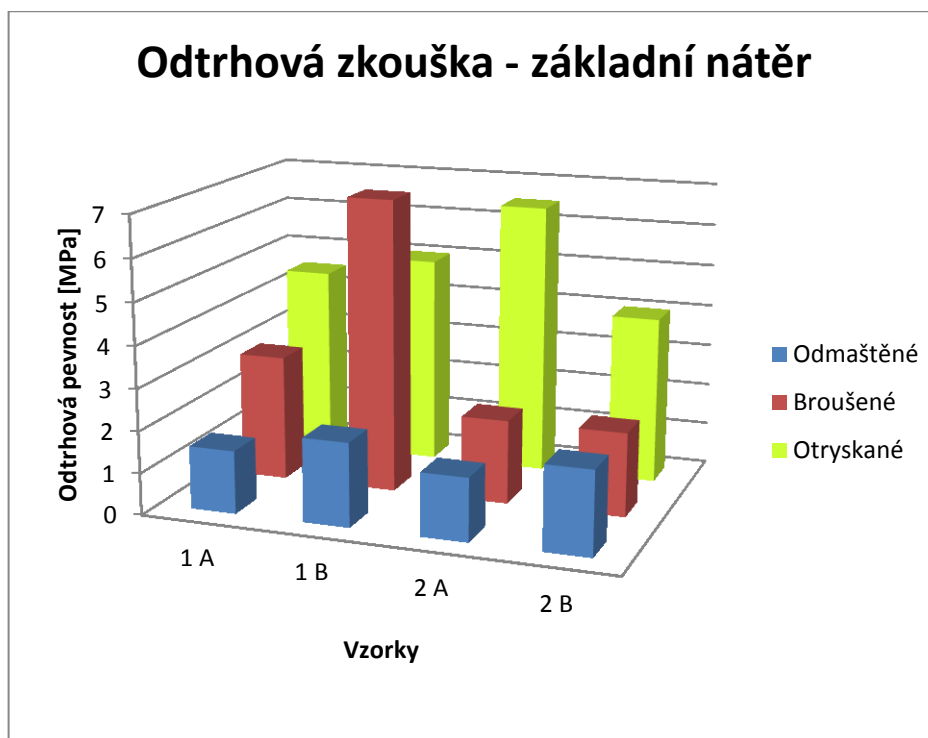
Naměřené hodnoty včetně jejich fotodokumentace jsou rozděleny do tabulek 18 a 19. Tabulky jsou doplněny měřením tloušťky vrstev nátěru v okolí místa odtrhu. Pro každý odtrh bylo provedeno vždy 6 měření tloušťkoměrem Elcometer 456 FNF a zaznamenán byl zprůměrovaný údaj.

Tabulka 18 – Odtrhová zkouška – základní nátěr

Označ. vzorku	Zkuš. tělisko	Fotografická dokumentace	Odtrhová pevnost [MPa]	Vyhodnocení charakteru lomu [%]				Tloušťka v okolí odtrhu [μm]
				A/B	B	B/Y	Y/Z	
ODM1	A		1,5	100				45,22
ODM1	B		2	99		1		45,40
ODM2	A		1,5	100				70,27
ODM2	B		2	99,5		0,5		54,88
BRO1	A		3	20			80	36,50
BRO1	B		7	78		21	1	48,48
BRO2	A		2	90		2	8	36,35
BRO2	B		2	80		2	18	46,85

TRY1	A		4,5		25		75	69,32
TRY1	B		5		50		50	49,88
TRY2	A		6,5		78		22	71,47
TRY2	B		4		40		60	58,22




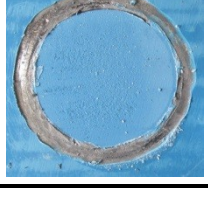
Pro porovnání odtrhové pevnosti jednotlivých vzorků byly zpracovány grafy. Hodnoty zkoušek, u kterých nedošlo k odtrhnutí tělíska (z důvodu větší pevnosti vrstev než byl rozsah stupnice odtrhoměru), jsou pro názornost pro tento účel zobrazeny s hodnotou 7,5 MPa.

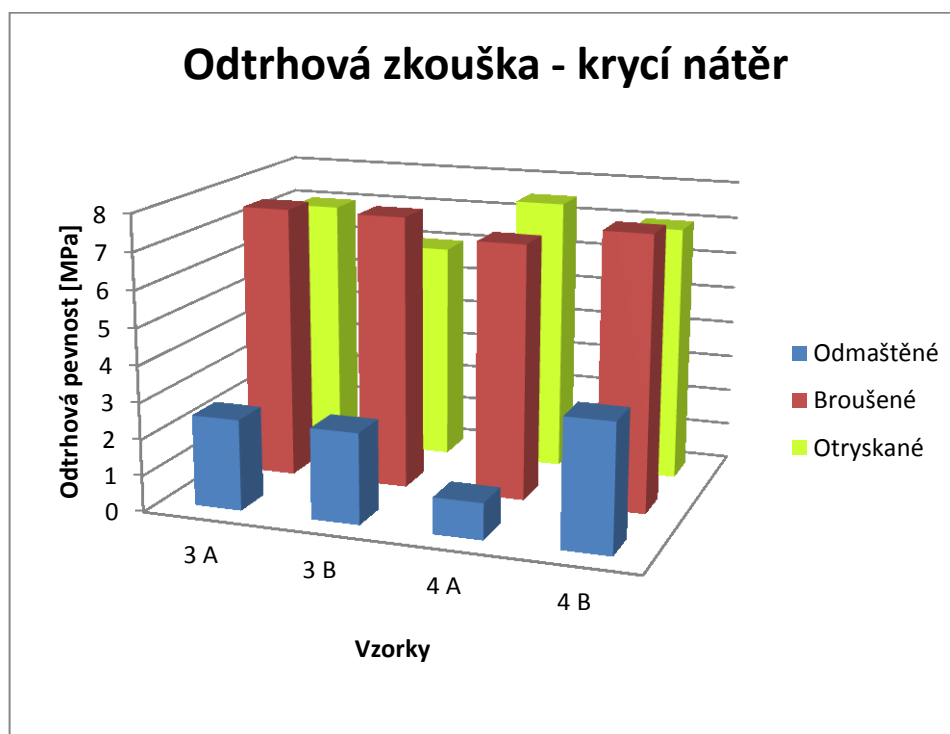


Graf 3 – Hodnoty odtrhové pevnosti vzorků se základním nátěrem

Tabulka 19 – Odtrhová zkouška – krycí nátěr

Označ. vzorku	Zkuš. tělísko	Fotografická dokumentace	Odtrhová pevnost [MPa]	Vyhodnocení charakteru lomu [%]				Tloušťka v okolí odtrhu [μm]
				A/B	C	C/Y	Y/Z	
ODM3	A		2,5	95	5			113,00
ODM3	B		2,5	100				81,35
ODM4	A		1	100				111,80
ODM4	B		3,5	60	3		37	105,10
BRO3	A		> 7	neodtrženo				80,40
BRO3	B		> 7	neodtrženo				88,78
BRO4	A		7		55	28	17	109,90
BRO4	B		> 7	neodtrženo				84,82

TRY3	A		7		80	20		104,10
TRY3	B		6		58	18	24	108,50
TRY4	A		> 7	neodtrženo				122,50
TRY4	B		7		70	28	2	121,50



Graf 4 – Hodnoty odtrhové pevnosti vzorků s krycím nátěrem

8.6.2 Mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2

Mřížkovou zkouškou hodnotíme odolnost vytvořeného povlaku proti jeho oddělení od podkladového materiálu. Zkouška je destruktivní, vrstvy nátěru u ní prořízneme až k podkladu pravoúhlou mřížkou. [12]

Pro proříznutí vrstvy byl použit ruční řezný nástroj s více ostřími. Vzdálenost mezi jednotlivými ostřími nástroje byla zvolena podle tloušťky nátěru. Po vyhotovení mřížky pomocí dvou na sebe kolmých řezů byla plocha lehce očištěna jemným štětečkem. Přes mřížku byla nalepena 50 mm široká speciální lepicí páska. Páska byla přitlačena prsty k podkladu a pod úhlem 60° odlepena.




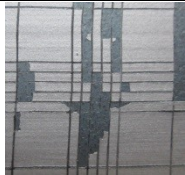

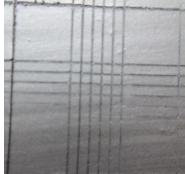

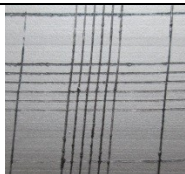


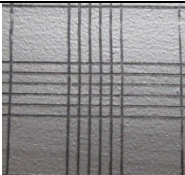
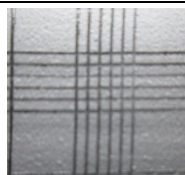
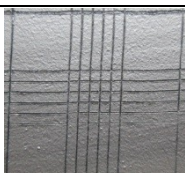
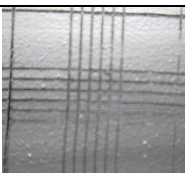
Obrázek 26 – Použitý řezný nástroj s více ostřími [17]

Plocha mřížky po odtrhnutí pásky byla klasifikována v těchto stupních:


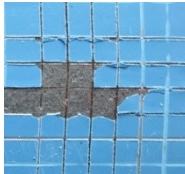
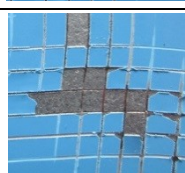
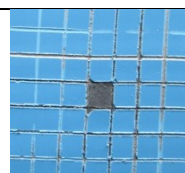
- 0 – plocha bez poškození,
- 1 – poškození nepřesahující 5 % plochy,
- 2 – poškození plochy mezi 5 a 15 %,
- 3 – poškození plochy mezi 15 a 35 %,
- 4 – poškození plochy mezi 35 a 65 %,
- 5 – větší poškození než 65 % plochy.


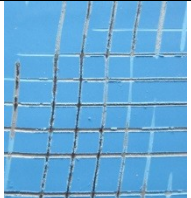
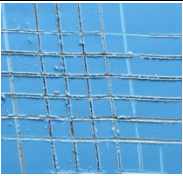
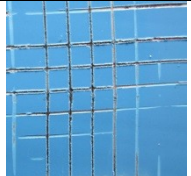

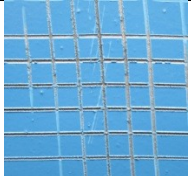
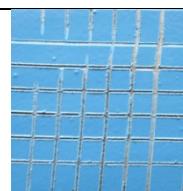
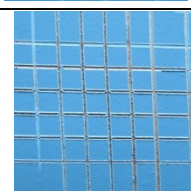
K vyhodnocení byla použita lupa, která je součástí sady pro testování pomocí mřížkové zkoušky. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v tabulce 20 a 21.

Tabulka 20 – Mřížková zkouška – základní nátěr

Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace	Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace
ODM1	A		1	ODM2	A		4
ODM1	B		0	ODM2	B		0
BRO1	A		0	BRO2	A		0
BRO1	B		0	BRO2	B		0
TRY1	A		0	TRY2	A		0
TRY1	B		0	TRY2	B		0

Tabulka 21 – Mřížková zkouška – krycí nátěr

Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace	Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace
ODM3	A		1	ODM4	A		2
ODM3	B		4	ODM4	B		1

BRO3	A		0	BRO4	A		0
BRO3	B		0	BRO4	B		0
TRY3	A		0	TRY4	A		0
TRY3	B		0	TRY4	B		0

8.7 Korozní zkouška

8.7.1 Zkouška solnou mlhou podle normy ČSN EN ISO 9227

Korozní zkouška probíhala v korozní komoře Liebisch S 400 M-TR. Použita byla zkouška neutrální mlhou (NSS) v roztoku chloridu sodného. V průběhu zkoušky byla udržována teplota v komoře 35 °C a pH solného roztoku v rozmezí 6,5-7,2.

Před vložením do komory byly všechny vzorky přelepeny po stranách a na zadní straně lepicí páskou. Polovina vzorků určených pro zkoušku byla pomocí řezného nástroje opatřena svislým řezem. Jeho délka byla nejméně 50 mm a řez porušil všechny vrstvy až k podkladu.

Doba expozice vzorků v solné komoře byla 168 hodin. Po vyjmutí se vzorky přibližně 1 hodinu nechaly oschnout na volném vzduchu. Zbytky roztoku byly ze vzorků opláchnuty v tekoucí vodě a poté osušeny proudem vzduchu.



Obrázek 27 a 28 – Fotografická dokumentace vzorků se základním nátěrem po korozní komoře s nalepenými zkušebními tělísky bez řezu a s řezem



Obrázek 29 a 30 – Fotografická dokumentace vzorků s krycím nátěrem po korozní komoře s nalepenými zkušebními tělísky bez řezu a s řezem

8.8 Hodnocení nátěrů

Vzorky z korozní komory byly vizuálně hodnoceny stupněm puchýřkování, stupněm prorezavění a ty, které byly upraveny řezem na povrchu byly vyhodnoceny také stupněm delaminace a koroze v okolí řezu. Všechny vzorky byly testovány destruktivní zkouškou přilnavosti – odtrhovou a mřížkovou zkouškou.

8.8.1 Hodnocení stupně puchýřkování podle normy ČSN EN ISO 4628-2

Při této zkoušce jsou puchýřky v nátěrech porovnány s obrázkovými standardy normy.

Povrch žádného vzorku nevykazoval vizuálně vznik puchýřků. Stupeň hodnocení všech vzorků je roven 0(S0).

8.8.2 Hodnocení stupně prerezavění podle normy ČSN EN ISO 4628-3

V této zkoušce jsou porovnávány a hodnoceny prerezavělé části nátěrů. Mírné prerezavění vykazovaly pouze 2 hodnocené vzorky, výsledky byly zaznamenány v tabulce.




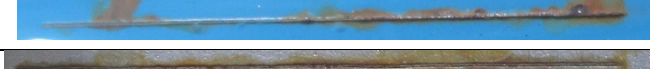

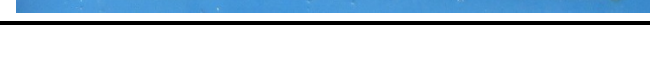
Tabulka 22 – *Hodnocení stupně prerezavění*

Označení vzorku	ODM5	ODM6	ODM7	ODM8
St. prerezavění	Ri1(S1)	Ri1(S1)	Ri0(S0)	Ri0(S0)
Označení vzorku	BRO5	BRO6	BRO7	BRO8
St. prerezavění	Ri0(S0)	Ri0(S0)	Ri0(S0)	Ri0(S0)
Označení vzorku	TRY5	TRY6	TRY7	TRY8
St. prerezavění	Ri0(S0)	Ri0(S0)	Ri0(S0)	Ri0(S0)

8.8.3 Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu podle normy ČSN EN ISO 4628-8

Delaminace a koroze v okolí řezu byla určována vizuálně porovnáním s obrazovými standardy normy ČSN EN ISO 4628-8. Výsledky hodnocení jsou zobrazeny v tabulce 23.

Tabulka 23 – *Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*


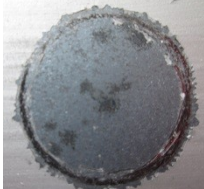





Označení vzorku	Fotografická dokumentace	Stupeň delaminace / koroze v okolí řezu
ODM5		1 / 1
ODM7		1 / 0
BRO5		1 / 0
BRO7		1 / 0
TRY5		1 / 0
TRY7		1 / 0




8.8.4 Odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1

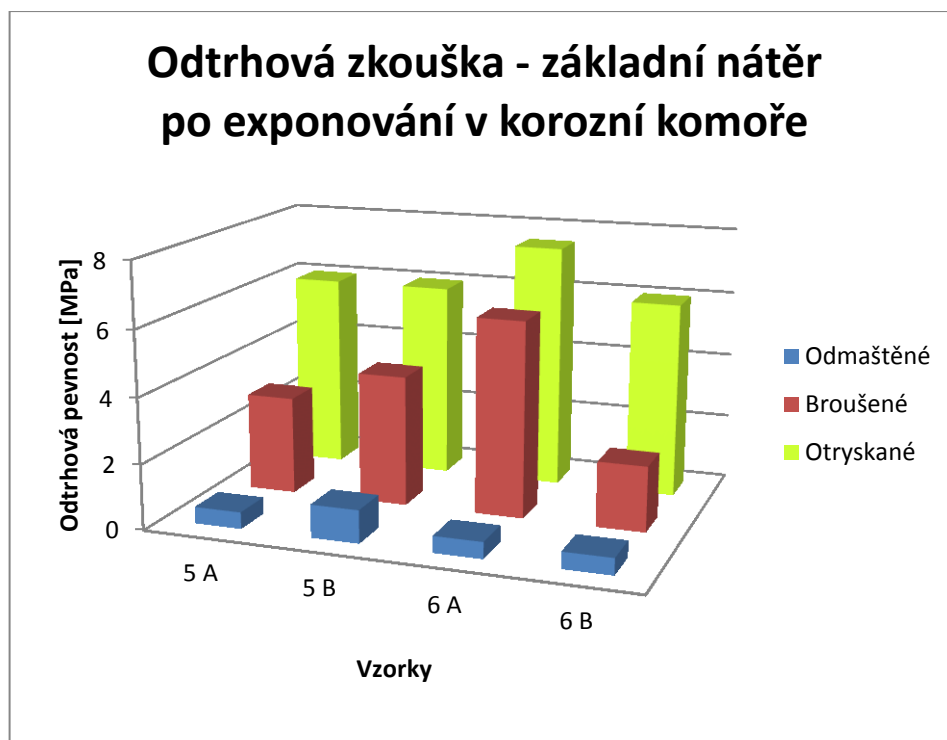
Odtrhová zkouška byla realizována stejným způsobem jako u vzorků neexponovaných v korozní komoře. V tabulkách naměřených hodnot jsou rovněž uvedeny doplňující údaje

o tloušťkách vrstev nátěru v okolí odtrhovaných zkušebních tělísek. V grafech jsou také porovnány odtrhové pevnosti jednotlivých vzorků.

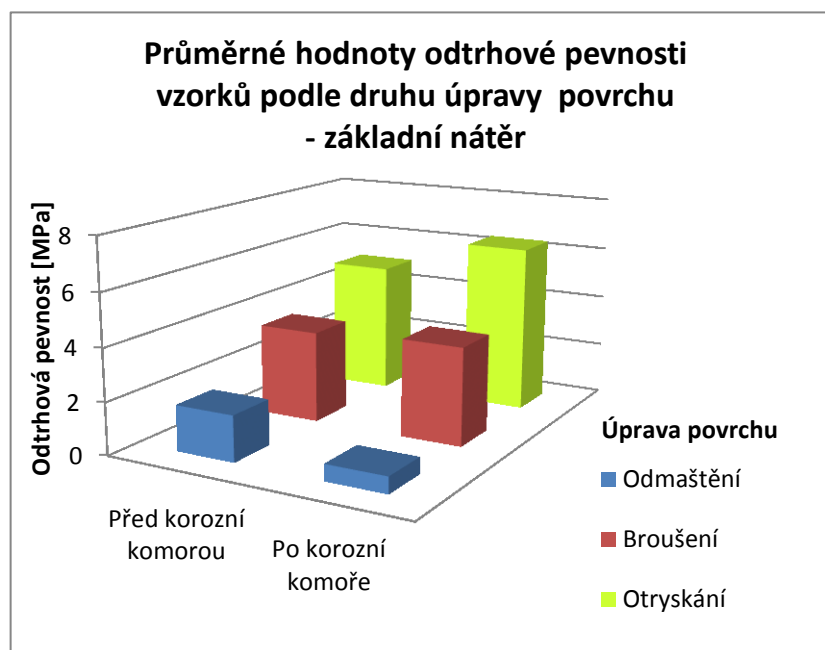
Tabulka 24 – Odtrhová zkouška – základní nátěr po korozní komoře

Označ. vzorku	Zkuš. tělísko	Fotografická dokumentace	Odtrhová pevnost [MPa]	Vyhodnocení charakteru lomu [%]				Tloušťka v okolí odtrhu [μm]
				A/B	B	B/Y	Y/Z	
ODM5	A		0,5	99,5		0,5		42,37
ODM5	B		1	100				49,46
ODM6	A		0,5	100				29,20
ODM6	B		0,5	100				34,30
BRO5	A		3	67		32	1	35,85
BRO5	B		4	65		35		38,30
BRO6	A		6	23		67	10	31,52

BRO6	B		2	85		15		37,12
TRY5	A		6			100		53,40
TRY5	B		6		0,5	99,5		55,40
TRY6	A		> 7	neodtrženo				80,85
TRY6	B		6			100		79,50

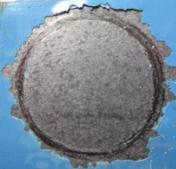
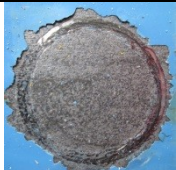
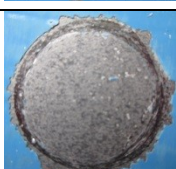




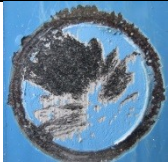

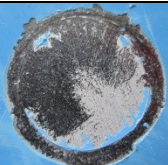


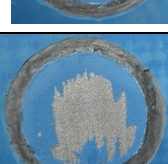
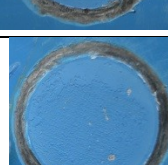
Graf 5 – Hodnoty odtrhové pevnosti vzorků se základním nátěrem po korozní komoře

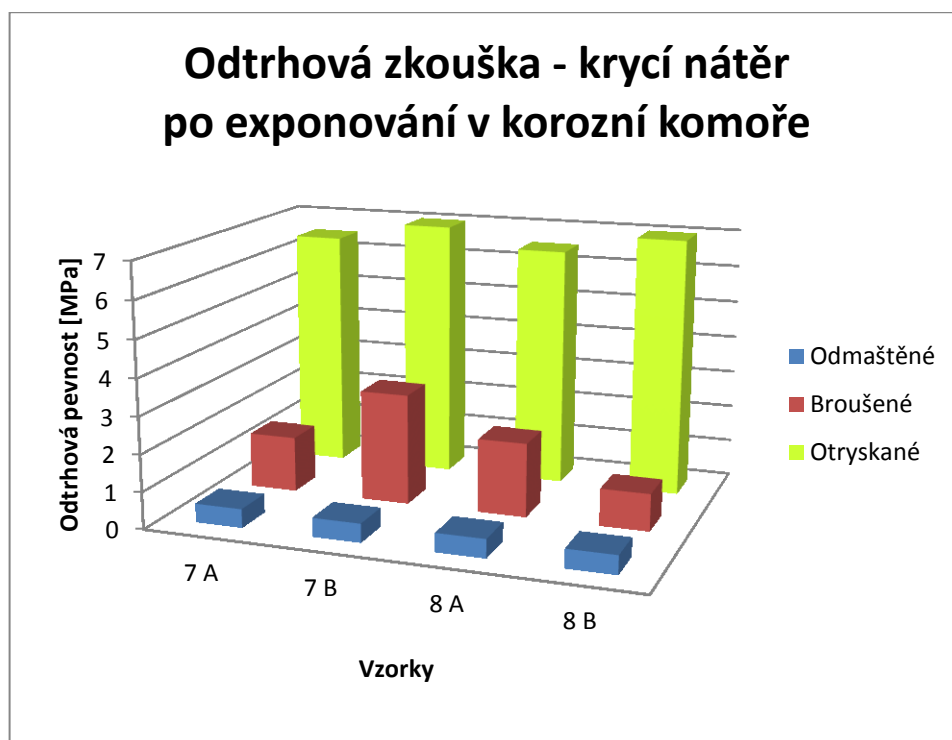


Graf 6 – Porovnání průměrných hodnot odtrhové pevnosti vzorků se základním nátěrem před a po korozní komoře

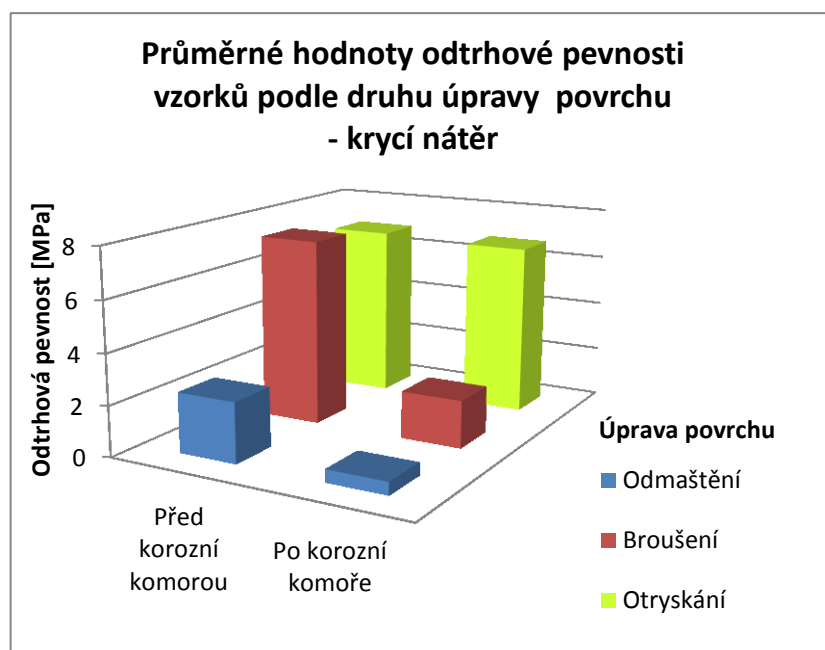
Tabulka 25 – Odtrhová zkouška po korozní komoře – krycí nátěr

Označ. vzorku	Zkuš. tělísko	Fotografická dokumentace	Odtrhová pevnost [MPa]	Vyhodnocení charakteru lomu [%]						Tloušťka v okolí odtrhu [μm]
				A/B	B	B/C	C	C/Y	Y/Z	
ODM7	A		0,5	100						98,55
ODM7	B		0,5	100						94,31
ODM8	A		0,5	100						95,41
ODM8	B		0,5	100						99,30

BRO7	A		1,5	62	10		28			83,72
BRO7	B		3	45	4		51			87,97
BRO8	A		2	88	4		8			111,30
BRO8	B		1	69		28	3			116,20
TRY7	A		6,5				95	4	1	121,70
TRY7	B		7				90	10		130,50
TRY8	A		6,5				18	79	3	125,30
TRY8	B		7				99	1		128,80



Graf 7 – Hodnoty odtrhové pevnosti vzorků s krycím nátěrem po korozní komoře


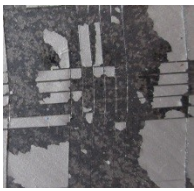
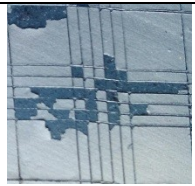
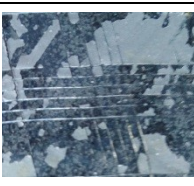
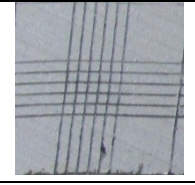
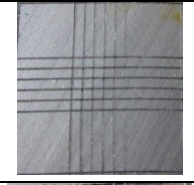

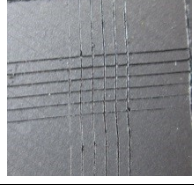
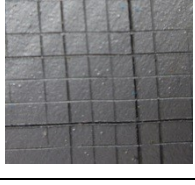


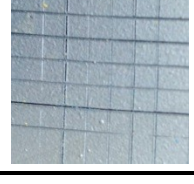


Graf 8 – Porovnání průměrných hodnot odtrhové pevnosti vzorků s krycím nátěrem před a po korozní komoře


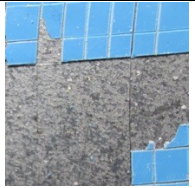

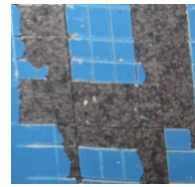
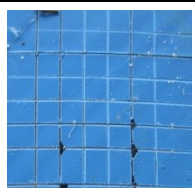

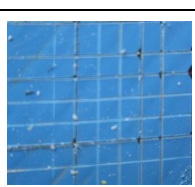
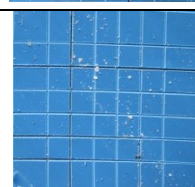
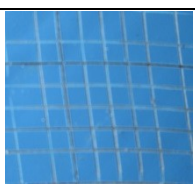
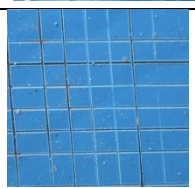
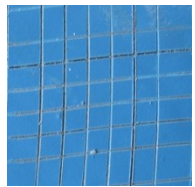

8.8.5 Mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2

Mřížkové zkouška byla vyhodnocována stejnými prostředky a stejným postupem jako u vzorků nevystavených koroznímu procesu. Výsledky zkoušení jsou uvedeny v tabulce 26 a 27.

Tabulka 26 – Mřížková zkouška po korozní komoře – základní nátěr

Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace	Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace
ODM5	A		1	ODM6	A		5
ODM5	B		4	ODM6	B		5
BRO5	A		0	BRO6	A		0
BRO5	B		0	BRO6	B		0
TRY5	A		0	TRY6	A		0
TRY5	B		0	TRY6	B		0

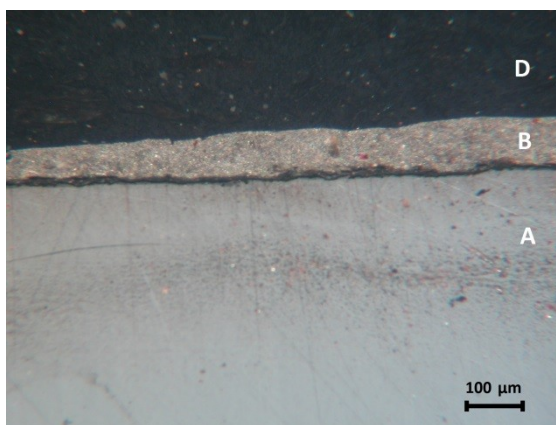
Tabulka 27 – Mřížková zkouška po korozní komoře – krycí nátěr

Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace	Označ. vzorku	Mřížka	Fotografická dokumentace	Klasifikace
ODM7	A		5	ODM8	A		5
ODM7	B		5	ODM8	B		5
BRO7	A		0	BRO8	A		0
BRO7	B		0	BRO8	B		0
TRY7	A		0	TRY8	A		0
TRY7	B		0	TRY8	B		0

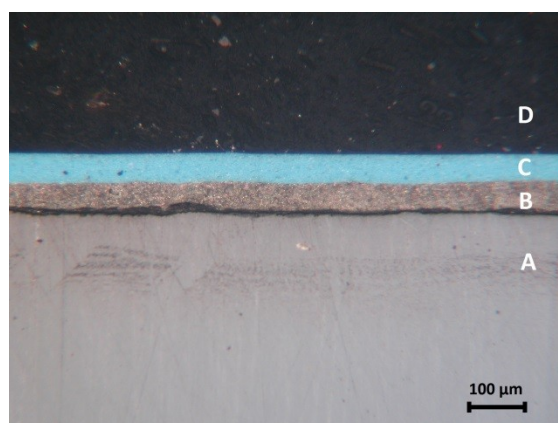
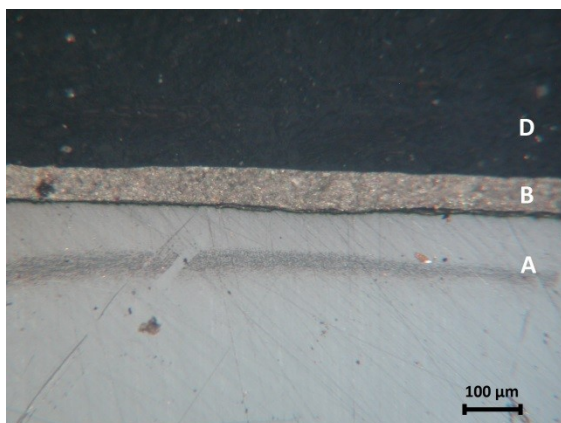
8.9 Metalografické vyhodnocení vzorků

Pro detailnější zobrazení struktury v průřezu jednotlivých vrstev materiálu byly vyhotoveny vzorky pro metalografické snímkování. Z části různých vzorků byly řezem odebrány pomocí rozbrušovačky části materiálu, které byly následně preparovány, broušeny a nakonec vyleštěny.

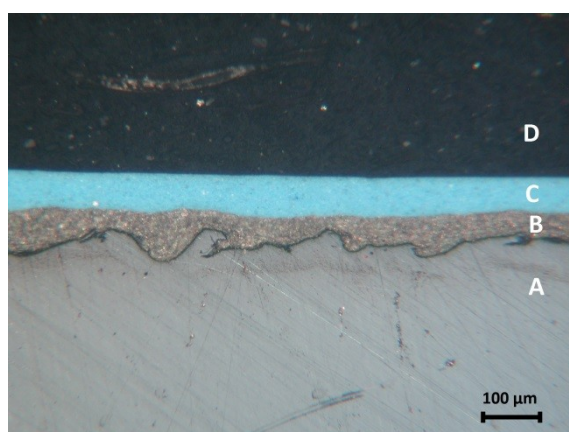
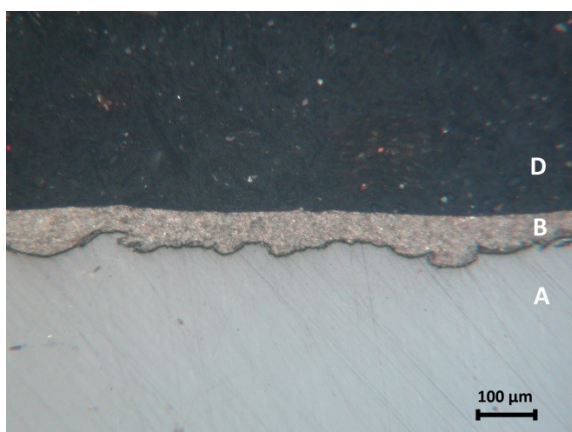
Snímky byly pořizovány z pozorování vzorků optickým mikroskopem Neophot 2. Pro zobrazení byly vybrány vzorky všech tří skupin materiálů nevystavených koroznímu prostředí s různými vrstvami nátěru.



Obrázek 31 – Metalografické mikrosnímky základní vrstvy nátěrového systému vzorku s broušeným povrchem. 100 násobné zvětšení mikroskopickým přístrojem Neophot 2. Vrstvy: A – podkladový kov, B – základní nátěr, D – zalévací hmota



Obrázek 32 a 33 – Metalografické mikrosnímky základní vrstvy a obou vrstev nátěrového systému vzorku s broušeným povrchem. 100 násobné zvětšení mikroskopickým přístrojem Neophot 2. Vrstvy: A – podkladový kov, B – základní nátěr, C – krycí nátěr, D – zalévací hmota



Obrázek 34 a 35 – Metalografické mikrosnímky základní vrstvy a obou vrstev nátěrového systému vzorku s otryskaným povrchem. 100 násobné zvětšení mikroskopickým přístrojem Neophot 2. Vrstvy: A – podkladový kov, B – základní nátěr, C – krycí nátěr, D – zalévací hmota

9. Závěr

Bakalářská práce se zabývá testováním podmínek při aplikaci nátěrových systémů s obsahem inhibitorů koroze a jejich vlivem na ochranné vlastnosti výsledných povlaků. Jde především o podmínky způsobu přípravy povrchu, při aplikaci nátěrového systému a vystavení nátěru koroznímu prostředí.

V první části práce jsem provedl základní seznámení s pojmy koroze, s procesy jejího vzniku, způsoby ochrany kovů, s principy přípravy povrchů před aplikací ochranných prostředků, s rozdělením nátěrových hmot a použitím inhibitorů koroze v nátěrových systémech.

Experimentální část popisuje postupy použité při zkoušení vlastností nátěru Cortec VpCI 396 na ocelových vzorcích a získané výsledky.

Vzorky byly charakterizovány hodnotami chemického složení a fyzikálních vlastností. Testované vzorky byly rozděleny do 3 skupin odlišujících se mezi sebou předběžnou přípravou jejich povrchu k následné aplikaci nátěrových systémů. Vzorky byly odmaštěny, ručně broušeny nebo otryskány a byla určena čistota a drsnost takto upravených vzorků. Největší čistoty a zároveň nejvyšší hodnoty drsnosti Ra a Rz dosahovaly otryskané vzorky, které naměřenými hodnotami výrazně převyšovaly zbývající dvě skupiny. Hodnoty drsnosti byly porovnány také formou grafů. Pro ověření přilnavosti povrchů a jejich vhodnosti k aplikaci dalších nátěrů byl proveden také test povrchového napětí pomocí inkoustů. Povrchy všech skupin vzorků testované pro hodnotu napětí 38 mN.m^{-1} splňovaly podmínku pro přilnutí nátěru k povrchu.

Při aplikaci nátěru Cortec VpCI byly kontrolovány hodnoty pro jeho užití určené dodaným technickým listem pomocí měření klimatických podmínek a měřením konečné tloušťky mokré vrstvy. Naměřené hodnoty byly v rozmezí doporučovaných limitů. Technický list (je také přílohou této práce) však již ve svém vlastním textu obsahuje některé nesrovnalosti. Například uvádí omezení při aplikaci nátěru pro okolní vlhkost 60-80 %, v jiném místě textu je to 20-80 %. Pro správnou interpretaci byly údaje porovnány s anglickým originálem technického listu a byla určena skutečná hodnota. Na část vzorků se suchým základním nátěrem byla aplikována vrchní krycí vrstva nátěru. Při přípravě vzorků pomocí tohoto běžně užívaného krycího nátěru nejmenované značky

byly dodrženy postupy a podmínky technického listu prostředku. Klimatické podmínky a tloušťka mokré vrstvy, zjištěné měřeními, byly v intervalech doporučovaných výrobcem.

Vzorky byly testovány odtrhovou zkouškou a mřížkovou zkouškou přilnavosti. U odtrhové zkoušky byla změřena odtrhová pevnost vrstev při odtržení přilepených válečků. Zároveň byl vyhodnocen charakter lomové plochy. Toto vyhodnocení u odmaštěných vzorků potvrdilo špatnou přilnavost především základního nátěru na převážné většině takto upravované plochy. Pro srovnání byla také zaznamenána tloušťka vrstev nátěru v okolí odtrhu. Mezi tloušťkou suché vrstvy nátěru a odtrhovou pevností nebyla nalezena významná souvislost, neboť vyšší odtrhovou pevnost vykazovaly jak některé ze zkoušek na vzorcích se slabší, tak i silnější vrstvou základního nátěru. Rovněž nelze nalézt spojitost měřených hodnot R_a a R_z s velikostí pevnosti v odtrhu, protože nejnižších hodnot R_a a R_z dosáhly broušené vzorky, přesto v pevnosti převyšovaly vzorky odmaštěné. Mřížková zkouška hodnotila také přilnavost nátěru k podkladovému materiálu. K odlupování políček mřížky došlo pouze u vzorků s odmaštěným povrchem, což potvrdilo výsledky předchozí odtrhové zkoušky.

Vzorky s jednou i oběma vrstvami nátěru všech 3 skupin byly testovány v korozním prostředí solné mlhy po dobu 168 hodin. Hodnocení povrchu vzorků prokázalo dostatečné ochranné protikorozní vlastnosti nátěrového systému, kde vzorky nevykazovaly žádné puchýřkování a pouze u 2 vzorků se projevilo mírné prorezavění na malé ploše. Jednalo se o vzorky s odmaštěným povrchem se základním nátěrem. U všech vzorků opatřených řezem byla hodnocena koroze a delaminace v jeho okolí jako velmi mírná. Odtrhová a mřížková zkouška prokázaly snížení přilnavosti základní vrstvy k podkladovému materiálu pouze u odmaštěných a broušených povrchů. Zatímco vzorky s broušeným povrchem vykazovaly před vystavením se koroznímu prostředí obdobnou nebo i vyšší odtrhovou pevnost než otryskané vzorky, po korozní komoře se hodnoty pevnosti u broušených vzorků snížily, u otryskaných však zůstaly stejně vysoké. Otryskané vzorky zároveň vykazovaly i ve vyhodnocení charakteru lomu příznivé vlastnosti základního nátěru. Významně zde nedocházelo ke koheznímu porušení této vrstvy, ani k poškození adhezni přidržnosti vrstvy k podkladu, což naznačuje, že i odtrhová pevnost samotné vrstvy je oproti naměřeným hodnotám vyšší. Metalografické snímky zobrazují při úpravě otryskáním velmi členitý povrch podkladového kovu, umožňující lepší zakotvení nátěru. Nejhorší výsledky byly naměřeny u odmaštěných vzorků. U mřížkové zkoušky

odmaštěného povrchu s krycím nátěrem se odlupovaly z povrchu velké části nátěru i mimo plochu porušenou zkušební mřížkou. Z hodnocení stejných typů vzorků dále vyplývá, že aplikovaná krycí vrstva většinou zvyšovala odtrhovou pevnost.

Experimentální zkoušky prokázaly u nátěrové hmoty Cortec VpCI 396 nutnost použití předúpravy povrchu metodou otryskání, a to v doporučeném stupni čistoty Sa 2½. Pro přípravu povrchu je naopak nevhodné použít pouze odmaštění. Protikorozní vlastnosti nátěrové hmoty dostatečně dlouhodobě chrání povrch ocelového materiálu použitého typu i ve velmi vysoce korozním atmosferickém prostředí. Účinek protikorozní ochrany základního nátěrového prostředku Cortec VpCI 396 lze také zvýšit aplikací vhodného krycího nátěru.

10. Použitá literatura

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav*. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] *Studijní opora: Korozní zkoušení kovových materiálů*. [online]. [cit. 2016-1-9]. Dostupné z <<http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/oporakoroze4/Index.html>>
- [3] BARTONÍČEK, Robert a kol. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1966. 720 s.
- [4] ČSN EN ISO 12944-2: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*. Praha: Český normalizační institut, říjen 1998. 16 s.
- [5] *Inhibitory koroze kovů*. [online]. [cit. 2016-1-9]. Dostupné z <<http://old.vscht.cz/document.php?docId=9559>>
- [6] *Dočasná ochrana*. [online]. [cit. 2016-1-9]. Dostupné z <<http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/docasna.pdf>>
- [7] KREIBICH, Viktor, HOCH, Karel. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991. 270 s.
- [8] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994. 76 s. ISBN 80-7078-235-8.
- [9] *Organické povlaky*. [online]. [cit. 2016-1-9]. Dostupné z <<http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/opovlaky.pdf>>
- [10] *Cortec - antikorozní materiály*. [online]. [cit. 2016-5-2]. Dostupné z <<http://www.cortecvci.cz/>>
- [11] *Katalog Cortec*. [online]. [cit. 2016-5-2]. Dostupné z <<http://www.tart.cz/files/download-katalogy/katalog-cortec-cz-v1.1b.-email2.pdf>>
- [12] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, říjen 2007. 16 s.

[13] SIOSTRZONEK, René: *Studium vývojové řady ochranných systémů na bázi siloxanu: disertační práce*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2007. 150 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

[14] *Systém vysokotlakého stříkání AIRLESS - Coloring*. [online]. [cit. 2016-5-6]. Dostupné z <<http://www.coloring.cz/?p=146>>

[15] *Antikorozní materiály Cortec*. [online]. [cit. 2016-1-9]. Dostupné z <<http://www.tart.cz/antikorozni-materialy/>>

[16] *TRIBOLÓGIA: Měření tloušťky povlaků (2. díl)*. [online]. [cit. 2016-5-2]. Dostupné z <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32014/mereni-tloustky-povlaku-2-dil.html>>

[17] *Elcometer 107 Cross Hatch Cutter*. [online]. [cit. 2016-5-2]. Dostupné z <<http://www.elcometer.com/en/coating-inspection/adhesion-testers/cross-hatch-adhesion-testers/elcometer-107-cross-hatch-cutter.html>>

Seznam příloh

Příloha A – Technický list nátěrového prostředku Cortec VpCI 396

Příloha A

Technický list nátěrového prostředku Cortec VpCI 396

VpCI® 396

POPIS PRODUKTU



VpCI 396 je velmi tuhý urethanový nátěr, odolný proti vlhkosti, aplikovatelný na hrubě připravenou konstrukční ocel i jiné kovy. Produkt je doporučen jako základový nátěr, poskytující vynikající antikorozi ochranu díky obsahu VpCI inhibitorů koroze v plynné fázi. Pro zvýšení účinku nátěru doporučujeme aplikovat druhou vrstvu nátěrem na bázi alifatického urethanu. VpCI 396 nátěr je vhodný i jako sekundární nátěr pro překrytí produktu CorrVerter® pro konstrukce, ponořené do vody, nebo pro konstrukce s hrubě upraveným povrchem apod. (např. vyvažovací nádrže, lodě apod).

Produkt vytváří velmi tvrdý ale přitom plastický nátěr, který je velmi účinný i tehdy, když je v okolním prostředí vysoká vzdušná vlhkost. Optimální podmínky, zajišťující perfektní účinnost nátěru, je vzdušná vlhkost mezi 20% a 80% a teplota prostředí 0-50°C.

VLASTNOSTI

- ✓ Malý obsah těkavých látek
- ✓ Jednosložkové balení
- ✓ Může být aplikován při vzdušné vlhkosti až 80%
- ✓ Může být aplikován při nízkých teplotách
- ✓ Vynikající přilnavost
- ✓ Vynikající antikorozi ochrana

CHRÁNĚNÉ KOVY

- ✓ Hliník
- ✓ Ocel
- ✓ Galvanizovaná ocel
- ✓ Litina

TYPICKÉ POUŽITÍ

- ✓ Mosty
- ✓ Konstrukční ocel
- ✓ Skladovací nádoby
- ✓ Vyvažovací nádrže nebo lodě

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Vzhled	viskózní roztok
Doba pro používání, nebo druhý nátěr	min. 4 hodiny při 24°C a 50% vlhkosti
Maximální doba pro druhý nátěr	2 týdny od prvního nátěru, může vyžadovat očištění
Doba, po které je možné se nátěru dotýkat	1 hodina při 24°C a 50% vlhkosti
Druh nátěru	tvrdý
Bod vzplanutí	25°C
Obsah netěkavých látek	67-72% dle váhy
Doba skladování	1 rok
Teoretická spotřeba	24m ² /l při síle vrstvy 0,025mm
Viskozita	500-1100 cps při 60t/min
Obsah těkavých látek	0,33kg/l
Hustota	1,1-1,16kg/l
Koeficient tření	0,20
Přilnavost	5B
Tvrdost nátěru	4H-7H
Odolnost plně vyzrálého nátěru	-78 °C – 150°C

PŘÍPRAVA POVRCHU

Povrch musí být perfektně suchý.

APLIKACE

Příprava produktu – důkladně promíchejte bez použití vysokotlakových přístrojů

Aplikace – normální síla vlhkého nátěru je 0,075-0,1mm. Takto silná vrstva má po zaschnutí tloušťku 0,05-0,75mm. Při vyšší vlhkosti při aplikaci (60-80%) doporučujeme dva nátěry při menší tloušťce prvního (0,05-0,062mm)

Svrchní nátěr – VpCI 396 by měl být překryt další vrstvou ihned po zatvrdnutí (1-16 hodin po aplikaci v závislosti na vlhkosti a teplotě). Po uplynutí této doby je možné, že aplikace dalšího nátěru by mohla vyžadovat zdrsňení povrchu. Pokud by k tomuto nedošlo, je pravděpodobné, že by další nátěr neměl dobrou přilnavost.



BALENÍ A SKLADOVÁNÍ

Produkt je dostupný v 19ti litrových nádobách.
Nádoby udržujte uzavřené.

OMEZENÍ

Aplikujte pokud je okolní vlhkost mezi 60%-80% a
teplota 0-38°C

Pouze pro průmyslové použití

Chraňte před dětmi

Nádoba musí být uchovávána pevně uzavřená

Nevhodné pro vnitřní použití

Více informací najdete na bezpečnostním listu

OMEZENÁ ZÁRUKA

Veškeré údaje, technické informace a doporučení uvedené v tomto technickém listu vycházejí z provedených testů. Společnost Cortec je považuje za spolehlivé, ale jejich přesnost nebo úplnost není zaručena. Společnost Cortec zaručuje, že její výrobky dodané zákazníkovi nebudou vykazovat žádné vady. Na základě této záruky se společnost Cortec zaručuje, že vymění vadné výrobky. Zákazník musí oznámit společnosti Cortec reklamovanou vadu do lhůty, dané zákonem, od dodání výrobku zákazníkovi, aby mohl dostat náhradní výrobek. Veškeré dopravní náklady související s výměnou výrobku budou hrazeny zákazníkem.

Společnost Cortec nebude odpovídat za žádné zranění, ztrátu nebo škodu vzniklou používáním nebo neschopností používat její výrobky.

Uživatel se musí před použitím výrobku přesvědčit o vhodnosti výrobku pro dané použití a v souvislosti s tím uživatel přebírá všechna rizika a odpovědnost. Údaje nebo doporučení, která zde nejsou obsažena, budou platná pouze v případě, že byla potvrzena písemně a podepsána zástupcem společnosti Cortec.

Uvedená záruka je exkluzivní a nahrazuje všechny další výslovné, předpokládané nebo statutární záruky, včetně všech předpokládaných záruk na prodej nebo vhodnost pro daný účel. Společnost Cortec neodpovídá za žádné okamžité nebo následné škody

LIMITED WARRANTY

All statements, technical information and recommendations contained herein are based on tests Cortec Corporation believes to be reliable, but the accuracy or completeness thereof is not guaranteed.

Cortec Corporation warrants Cortec® products will be free from defects when shipped to customer. Cortec Corporation's obligation under this warranty shall be limited to replacement of product that proves to be defective. To obtain replacement product under this warranty, the customer must notify Cortec Corporation of the claimed defect within six months after shipment of product to customer. All freight charges for replacement product shall be paid by customer.

Cortec Corporation shall have no liability for any injury, loss or damage arising out of the use of or the inability to use the products.

BEFORE USING, USER SHALL DETERMINE THE SUITABILITY OF THE PRODUCT FOR ITS INTENDED USE, AND USER ASSUMES ALL RISK AND LIABILITY WHATSOEVER IN CONNECTION THEREWITH. No representation or recommendation not contained herein shall have any force or effect unless in a written document signed by an officer of Cortec Corporation.

THE FOREGOING WARRANTY IS EXCLUSIVE AND IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. IN NO CASE SHALL CORTEC CORPORATION BE LIABLE FOR INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.



4119 White Bear Parkway, St. Paul, MN 55110 USA
Phone (651) 429-1100, Fax (651) 429-1122
Toll Free (800) 4-CORTEC, E-mail: info@cortecvci.com
www.CortecVpCI.com

distributor pro ČR: TART, s.r.o.
identifikace: IČ: 46 90 18 76 DIČ: CZ46901876
zapsaná u: rejstříkového soudu v Brně, oddíl C, vložka 5862
se sídlem: Vinohradská 91, 618 00 Brno - Černovice
tel/fax: tel.: 548 210 500, fax: 548 210 503
email: info@Tart.cz
www: www.Tart.cz



ISO 9001:2000

